

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS ARARANGUÁ**

Leonardo Loch da Silva

**SISTEMA DE MONITORAMENTO DE CONSUMO DE
ENERGIA ELÉTRICA RESIDENCIAL COM A
UTILIZAÇÃO DO PROTOCOLO MQTT**

Araranguá

2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Silva, Leonardo

Sistema de Monitoramento de Consumo de Energia Elétrica Residencial com a Utilização do Protocolo MQTT / Leonardo Silva ; orientador, Tiago Oliveira Weber, 2018.

83 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Araranguá,
Graduação em Engenharia de Computação, Araranguá, 2018.

Inclui referências.

1. Engenharia de Computação. 2. Internet das Coisas. 3. Energia Elétrica. 4. Controle de Consumo de Energia Elétrica. I. Oliveira Weber, Tiago. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia de Computação. III. Título.

Leonardo Loch da Silva

**SISTEMA DE MONITORAMENTO DE CONSUMO DE
ENERGIA ELÉTRICA RESIDENCIAL COM A
UTILIZAÇÃO DO PROTOCOLO MQTT**

Monografia submetida ao Engenharia
de Computação para a obtenção do
Grau de Bacharelado em Engenharia
de Computação.

Orientador: Prof. Dr. Tiago Oliveira
Weber

Araranguá

2018

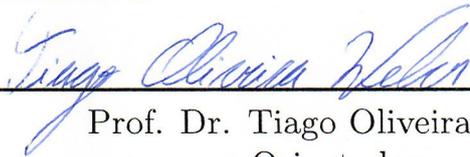
Leonardo Loch da Silva

**SISTEMA DE MONITORAMENTO DE CONSUMO DE
ENERGIA ELÉTRICA RESIDENCIAL COM A
UTILIZAÇÃO DO PROTOCOLO MQTT**

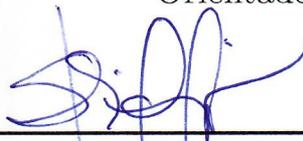
Esta Monografia foi julgada aprovada para a obtenção do Título de “Bacharelado em Engenharia de Computação”, e aprovada em sua forma final pelo Engenharia de Computação.

Araranguá, 27 de novembro 2018.

Banca Examinadora:



Prof. Dr. Tiago Oliveira Weber
Orientador



Profa. Dra. Analucia Schiaffino Morales



Prof. Dr. Fábio Rodrigues de La Rocha

*Ou escreves algo que valha a pena ler, ou
fazes algo acerca do qual valha a pena es-
crever.*

Benjamin Franklin

RESUMO

Desde os primeiros registros de utilização da energia elétrica gerada pelo homem, houve um engajamento, por parte da sociedade, na sua utilização para criação de novas tecnologias. Pela vasta utilização no passar dos tempos, surgiram dependências e preocupações a respeito de sua utilização, já que há impactos ambientais em sua geração. Dada a importância de se cultivar um consumo consciente este trabalho propõe a construção de um sistema capaz de monitorar o consumo com foco em aparelhos eletrônicos residenciais e que possibilite desligá-los ou ligá-los de forma remota, sem a necessidade de estar fisicamente próximo ao aparelho. O equipamento desenvolvido permite o usuário possuir um maior controle sobre seus gastos, bem como permite a redução de desperdícios e colaborando com o meio ambiente. O sistema aborda tanto a construção de um módulo para captar o consumo de energia elétrica, como também o desenvolvimento de um servidor para informar o comportamento do dispositivo eletrônico conectado a ele. Para validar as medições e o funcionamento do sistema, foram realizados testes com equipamentos eletroeletrônicos residenciais. Os resultados mostraram que o sistema está funcionando corretamente e em comparação com um dispositivo de medição comercial obteve um erro inferior a 3% para os casos analisados.

Palavras-chave: MQTT, IoT, Energia Elétrica

ABSTRACT

Since the first records of the use of electricity generated by man, there was an engagement by society in its use for the creation of new technologies. Due to the wide use in the passage of time, dependencies and concerns about its use have arisen, since there are environmental impacts in its generation. Given the importance of cultivating a conscious consumption, this work proposes the construction of a system capable of monitoring consumption with a focus on residential electronic devices and that enables them to be turned off or turned on remotely, without the need to be physically close. The equipment developed allows the users to have greater control over their expenses, as well as reducing waste, helping the environment. The system addresses both the construction of a module to capture consumption of electricity, as well as the development of a server to inform the behavior of the electronic device connected to it. To validate measurements and system operation, tests were carried out with electrical and electronic household appliances. Results showed the system is working correctly and, compared to a commercial measuring device, obtained an error of less than 3% for the analyzed cases.

Keywords: MQTT, IoT, Energy Electric

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Diagrama Microcontrolador.....	30
Figura 2	Fluxo aquisição de sinais.....	33
Figura 3	Tarifas Energia Elétrica.....	36
Figura 4	Comparação de Protocolos.....	37
Figura 5	Arquitetura Mqtt.....	39
Figura 6	Diagrama Estudo de Caso.....	42
Figura 7	Diagrama de blocos do sistema.....	45
Figura 8	Esquemático do módulo.....	46
Figura 9	Transistor NPN.....	47
Figura 10	Esquemático para cálculo para valor do resistor.....	48
Figura 11	Foto posicionamento dos hardwares.....	49
Figura 12	Prototipação da proteção do módulo.....	52
Figura 13	Foto fabricação da proteção do módulo.....	52
Figura 14	Foto da caixa de proteção com o módulo.....	53
Figura 15	Diretório do Projeto.....	54
Figura 16	Diagrama de Classes.....	55
Figura 17	Esquemático do Banco de Dados.....	56
Figura 18	Fluxograma de funcionamento do sistema.....	57
Figura 19	Imagem da rede criada.....	58
Figura 20	Ilustração dos campos a serem preenchidos.....	59
Figura 21	Ilustração campos preenchidos.....	59
Figura 22	Fluxograma de funcionamento do módulo.....	60
Figura 23	Foto cadastro de usuário.....	61
Figura 24	Foto login do usuário.....	61
Figura 25	Foto do layout acesso do usuário.....	62
Figura 26	Imagem do arranjo dos nodos.....	62
Figura 27	Representação das informações e consumo do módulo..	63
Figura 28	Imagem do histórico gráfico de consumo.....	63
Figura 29	Imagem do gráfico de consumo diário.....	64
Figura 30	Formulário de cadastro do módulo.....	65
Figura 31	Informação do Usuário.....	65
Figura 32	Fluxograma de funcionamento do servidor.....	66

Figura 33 Inserir Mensagem no Tópico	67
Figura 34 Publicar Mensagem no Tópico	67
Figura 35 Teste mensagem no servidor	68
Figura 36 Teste mensagem no módulo.....	68
Figura 37 Foto do teste corrente com um ventilador.....	69
Figura 38 Foto do teste corrente com um carregador	69
Figura 39 Foto do teste corrente com um aspirador de pó	70
Figura 40 Imagem da medição de tensão.....	71
Figura 41 Gráfico do consumo de potência elétrica do Ferro de Solda	72
Figura 42 Gráfico do consumo de potência elétrica do Ventilador	73
Figura 43 Gráfico do consumo de potência elétrica da Fonte Chaveada	73
Figura 44 Ilustração do ESP8266	79
Figura 45 Ilustração sensor ACS712.....	80
Figura 46 Ilustração relé utilizado.....	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	<i>Header</i> dos pacotes de dados	38
Tabela 2	Dimensões dos componentes do módulo.....	51
Tabela 3	Medição corrente elétrica real.....	70
Tabela 4	Resultado consumo instantâneo.....	71
Tabela 5	1 - Carga Indutiva ; 2 - Carga Resistiva ; 3-Fonte Chaveada.....	72
Tabela 6	Tabela de Custos.....	74

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica	34
MQTT	Message Queue Telemetry Transport	36
CoAP	Constrained Application Protocol	36
AMQP	Advanced Message Queuing Protocol	36
IBM	International Business Machines	37
IDE	Integrated Development Environment	44
TJB	Transistor de Junção Bipolar	46
RMS	Root Mean Square	51
SGBD	Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados	55
API	Application Programming Interface	63

LISTA DE SÍMBOLOS

CO ₂	Dióxido de Carbono	23
i	Corrente Elétrica	33
Q	Carga Elétrica	33
t	Tempo	33
B	Campo Magnético	33
μ_0	Constante Magnética	33
r	Raio	33
PA	potência ativa	43
FP	Fator de Potência	43
A	Ampere	50
V	Volt	50
W	Watts	58
E	Energia Elétrica	64
P	Potência Elétrica	64
Δ	Variação	64

SUMÁRIO

1	Introdução	23
1.1	Contextualização	23
1.2	Estado da Arte	24
1.3	Justificativa	26
1.4	Hipótese	26
1.5	Objetivos	26
1.5.1	Objetivo Geral	26
1.5.2	Objetivos Específicos	26
1.6	Metodologia	27
2	Revisão Teórica	29
2.1	Sistemas Embarcados para Aquisição de Sinais	29
2.1.1	Microcontrolador	29
2.1.2	Formas de Interrupção de Energia Elétrica	31
2.1.3	Tratamento de Sinais de Sensores	31
2.1.4	Sensor de Corrente Elétrica	33
2.2	Tensão Elétrica	34
2.3	Gerenciamento de Energia Elétrica no Brasil	35
2.4	Protocolos de Comunicação para IoT	36
2.4.1	MQTT	36
3	Desenvolvimento	41
3.1	Levantamento de Requisitos	41
3.1.1	Programar Comportamento	41
3.1.2	Monitorar	41
3.1.3	Diagrama Estudo de Caso	42
3.2	Comunicação	43
3.2.1	WIFI	43
3.2.2	Broker	44
3.3	Software e Firmware	44
3.3.1	Firmware do ESP8266	44
3.3.2	Software do Servidor	44
3.4	Construção	45
3.4.1	Módulo	45
3.4.2	Sensor de Corrente Elétrica	50
3.4.3	Proteção do Módulo	51
3.4.4	Web Service	53
3.4.5	MQTT	56
3.5	Funcionamento	57

3.5.1	Módulo	58
3.5.2	Servidor	60
4	Resultados	67
4.1	Comunicação	67
4.2	Sensor de Corrente	68
4.3	Consumo Instantâneo	70
4.4	Consumo Contínuo	72
4.5	Preço de Custo.....	74
5	Conclusão	75
ANEXO A – Anexo		79
Referências.....		81

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Uma das mais importantes invenções modernas foi construção das primeiras usinas geradoras em corrente contínua por Thomas Edison em 1886 (FARIAS; SELITTO, 2011) com propósito de fornecer energia para sistemas de iluminação. Com esta descoberta, foram desencadeadas outras invenções que proporcionaram progresso tecnológico e facilidades à vida do ser humano. Contudo, à época destas descobertas, ainda não se tinha conhecimento sobre o nível de utilização que a energia elétrica poderia alcançar. Em 2011, um levantamento constatou que a energia elétrica é responsável por um terço de toda energia consumida no mundo (FARIAS; SELITTO, 2011). No Brasil, estima-se que o crescimento de consumo de energia elétrica residencial no território brasileiro será de 3,9% ao ano até 2026 (EPE/ONS, 2017). No que diz respeito a matriz energética nacional, as hidrelétricas, que são consideradas fontes limpas, eram responsáveis por 93% da geração de energia elétrica no país em 1990. Já em 2017, produzem só cerca de 62% do total. No mesmo período, as termoeletricas cresceram de 4% a 23%(HAAHR, 2015). Estes dados são preocupantes visto que as termoeletricas têm grande parcela de contribuição no aquecimento global através do efeito estufa. Ainda, tamanha dependência da energia elétrica e a taxa de aumento do consumo causam preocupações sobre como fornecer esta demanda em um mundo com recursos limitados.

Tendo conhecimentos desses dados, o governo pratica algumas ações para que não haja sobrecarga nas estações de abastecimento de energia e, por consequência, falta de energia. Estas ações visam moderar o consumo, o que também reduz o efeito estufa. Uma das ações mais conhecidas é a criação do horário de verão, onde o horário é adiantado em uma hora em determinadas regiões para que se utilize mais a luz do dia no período que as pessoas estão em suas residências, utilizando assim menos energia elétrica.

Apesar de medidas tomadas por parte do governo, estas não são suficientes para solucionar o problema, tanto no que diz respeito a sobrecarga de fornecimento de energia elétrica quanto na redução de emissão de CO₂, Dióxido de Carbono, para não contribuir com o efeito estufa. Por isso a iniciativa tem que partir também dos consumidores, a fim de criar o hábito de consumo consciente.

Para que o consumidor possa estar ciente do seu aproveitamento

de energia elétrica, foi idealizado a construção de um sistema capaz de informar o usuário final sobre o consumo de cada aparelho em sua residência, bem como controlar sua ativação. Dessa forma, é possível saber o consumo de equipamentos eletroeletrônicos, sistema de iluminação e também ligar/desligar dispositivos remotamente. Assim, sistemas desse tipo possibilitam agregar comodidade e economia.

1.2 ESTADO DA ARTE

Diversos trabalhos na literatura buscaram a criação de sistemas de monitoramento de energia. O que difere principalmente é modo que coletam a informação, principalmente o que se refere o microcontrolador utilizado, e a forma que expõe essa informação ao usuário. Como em (ASHRAF et al., 2015), O autor construiu um sistema residencial, de forma que o monitoramento não fosse individual de um aparelho e sim o valor de consumo fosse da residência inteira, não tendo a disponibilidade de identificar cada aparelho que esta sendo monitorado. Na pesquisa o autor usou o microcontrolador ATMEGA328 e um sensor de corrente não invasivo. Como as informações deveriam ir para um servidor, foi utilizado o ESP8266 como módulo WIFI.

Em (WEISS; MATTERN; BECKEL, 2013), o monitoramento é realizado sem a possibilidade de desligar ou ligar o equipamento monitorado. Neste caso, apenas a visualização do consumo de energia elétrica é possível. Utilizado uma comunicação *WIFI* para enviar os dados para um servidor e através de um aplicativo de celular visualizar o consumo.

Na idealização da construção de uma casa inteligente, com o monitoramento de vários aspectos residenciais, como o consumo de energia elétrica, a pesquisa (GUREK et al., 2013) propôs um monitoramento tanto remoto quanto presencial. Com a utilização do kit de desenvolvimento *i.MX53 Quick Start Board*, uma placa com vários periféricos já acoplados, dentre eles a comunicação *ethernet*. O autor apresentou uma arquitetura onde o módulo coletasse os dados e disponibilizasse na própria residência e enviasse também para um *Web Service*. Com os dados no servidor o usuário poderia utilizar um aplicativo de *smart phone* para ter acesso essas informações remotamente.

A pesquisa (PAULA, 2013), o autor monitorou o consumo de energia elétrica de forma remota. Para realizar a tarefa foi utilizado a placa de desenvolvimento *Arduino Mega*, um sensor de corrente e de tensão. Para divulgar a informação foi utilizado um *shield ethernet* para se comunicar com um computador, o qual desempenhou o papel de servidor

para ter o acesso remoto.

Para a pesquisa (POCERO et al., 2017), cujo objetivo é o monitorar a eficiência energética em escolas. No intuito de desempenhar o monitoramento do consumo foi utilizado o microcontrolador ATE-MEGA328P com um módulo ZigBee, onde o padrão de comunicação é o IEEE 802.15.4. A topologia utilizada é tipo *mesh*, onde foi definido um nodo para ser o *gateway* para salvar as informações na nuvem. Para o cálculo do consumo foi utilizado um sensor de corrente elétrica e de tensão.

Comercialmente já existem aparelhos que medem o consumo de energia elétrica. O Smappee Energia (Box) é um dispositivo que é conectado na tomada e os aparelhos a serem monitorados são conectados a ele. O Smappee Energia tem acesso a internet através do WIFI. Para ter acesso a suas informações foi desenvolvido um aplicativo, sendo a interface do usuário. Com este aparelho é possível desligar e ligar o aparelho remotamente e acompanhar o seu histórico de consumo. Seu preço é de R\$ 3.109,16.

Já o Sonoff Pow Medidor, é um medidor de consumo no qual para sua utilização é preciso ser instalado direto nas rede elétrica, com os fios passando pelo aparelho. Possui conexão *wireless*, utilizando *WIFI*, para enviar os dados. Com este aparelho não é possível verificar o histórico de consumo, apenas o consumo instantâneo, porém tem a possibilidade de desligar e ligar de forma remota. Seu preço é R\$ 89,72.

Um pouco mais simples, o *Kill A Watt CO2 Wireless* é um dispositivo que mede o consumo de energia e apresenta através de uma tela de LCD que não é fixo com o medido. A comunicação do entre o *display* e o medidor é através de uma comunicação *wireless*, não especificado o tipo de protocolo utilizado. Seu preço é R\$ 216,91.

Apesar de já existirem soluções propostas para o problema do projeto, a realização adotada para solucionar o problema difere devido a não necessitar conexão com uma casa inteligente ou qualquer sistema centralizado, mantendo a possibilidade de desabilitar ou habilitar o dispositivo controlado remotamente através de sistema *Web*. Por outro lado, algumas características se assemelham com aos demais projetos e pesquisas, como a utilização do protocolo IEEE 802.11 para padronização da comunicação e o módulo ESP8266.

1.3 JUSTIFICATIVA

A principal justificativa para o desenvolvimento de um sistema de monitoramento de consumo de energia elétrica é conscientizar o consumidor final sobre os gastos de seus equipamentos eletroeletrônicos. Além disso, através de informações detalhadas sobre o uso dos equipamentos, é possível obter métricas de consumo do aparelho durante sua vida útil.

Ainda, o monitoramento do estado de funcionamento do eletrodoméstico, sendo ligado ou desligado, permite evitar desperdício de energia elétrica em equipamentos que não estão sendo utilizados.

Visto que o projeto do sistema tem como guia ser de baixo custo, o sistema pode, ainda, contemplar uma parte significativa da população.

1.4 HIPÓTESE

É possível criar um sistema confiável capaz de monitorar o consumo de energia elétrica de um equipamento residencial e ligar ou desligar o mesmo de forma remota, levando em conta um baixo custo de produção.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem por objetivo criar um sistema capaz de coletar o consumo de energia elétrica e informa ao usuário sobre o seu consumo e desligar/ligar o equipamento monitorado, interagindo com o sistema de forma remota. Além de ser de baixo custo, para contemplar uma maior parte da população, o sistema deve ter uma *interface* intuitiva para o usuário.

1.5.2 Objetivos Específicos

1. Criar módulo capaz de monitorar e controlar o consumo de energia elétrica em aparelhos;

2. Definir, implementar e testar comunicação entre o módulo e servidor;
3. Comparar diversos equipamentos já existentes e validar os dados gerados pelo módulo;
4. Avaliar e demonstrar o consumo de energia elétrica através em um determinado período;
5. Construir uma *interface* para o usuário acessar os dados gerados pelo módulo;

1.6 METODOLOGIA

Para a realização deste trabalho, os seguintes passos foram definidos:

1. Realizar revisão bibliográfica com base nas pesquisas na mesma linha de estudo do projeto;
2. Definir tecnologias utilizadas no projeto;
3. Projetar um sistema eletrônico para aquisição do consumo de energia elétrica em equipamentos eletrotônicos;
4. Verificar a consistência dos dados adquiridos;
5. Implementar a interação do usuário com o módulo, para que insira as configurações iniciais do módulo;
6. Testar o protocolo de comunicação implementado;
7. Projetar um sistema que contemple as necessidades do projeto e que seja de fácil interação com o usuário.
8. Testar a comunicação entre o módulo e o servidor;
9. Criar um cenário para teste do sistema;

2 REVISÃO TEÓRICA

Para construção do módulo, foram abordados temas que se relacionam com a da pesquisa. A pesquisa tem como pilares o registro de consumo de energia e o desenvolvimento de um sistema que consiga captar o dados e forneça ao consumidor, utilizando tecnologias que proporcione essa abordagem.

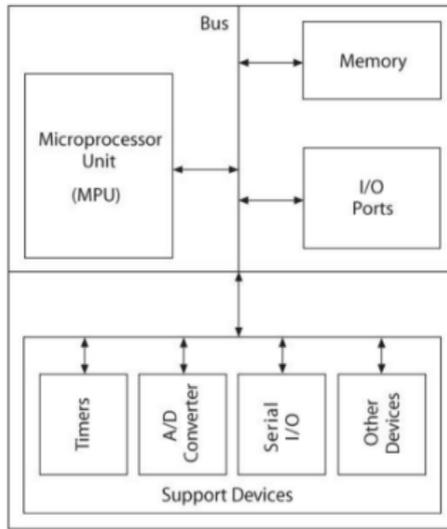
2.1 SISTEMAS EMBARCADOS PARA AQUISIÇÃO DE SINAIS

A construção do módulo que irá embarcar no eletrodoméstico terá o objetivo de adquirir o dado, processar o dado e transformá-lo em uma informação válida para o cenário que foi proposto. Um sistema de controle tem como características um elemento controlador, atuadores e sensores cujo tenha uma funcionalidade de manter uma determinada tarefa autônoma.

2.1.1 Microcontrolador

Um microcontrolador é um circuito integrado composto por um microprocessador e por periféricos. Muito utilizado em aplicações de sistemas embarcados, possuindo um baixo consumo e sendo programável para desempenhar uma determinada funcionalidade. Historicamente o primeiro microcontrolador criado foi TMS 1000 pela Texas Instruments em 1971(VARACHA et al., 2012), para controlar uma calculadora e desempenhar suas operações matemáticas.

Figura 1 – Diagrama Microcontrolador



Fonte: (PRANTIK, 2014)

A figura 1 é um diagrama dos principais blocos de um microcontrolador moderno. Internamente ele possui :

Microprocessador responsável pela parte lógica de processamento de dados

Portas *Input*(Entradas) ou *Output*(Saída) para interagir com atuadores ou sensores.

Memória para armazenar dados e endereços. Assim possibilitando programar um comportamento específico do microcontrolador e salvá-lo.

Timers são reesponsáveis por efetuar operações de tempo, as principais são ligadas a interrupções, para que haja uma periodicidade.

Conversores Analógico/Digitais ou Digital/Analógico desempenham o papel de reproduzir grandezas digitais e analógicas, a fim que o processador interaja com informações vinda de fora.

Comunicação Serial é utilizada para transferência de dados entre dispositivos. O microcontrolador utiliza dois barramentos dessa comunicação, uma para enviar informações outro para receber.

Barramento de comunicação é o caminho onde trafegam as informações do microcontrolador.

Outras funcionalidades são integradas conforme foi projetado o microcontrolador e suas necessidades a mais.

2.1.2 Formas de Interrupção de Energia Elétrica

O processo de interrupção de energia elétrica é uma prática que consiste em eliminar a queda de tensão em um circuito elétrico. Isso é realizado "abrindo o circuito", retirando a conexão da tensão de maior ou de menor potencial do circuito. Essa ação acarreta na não existência de uma corrente elétrica transitando no condutor, segunda a lei de Ohm.

Existem alguns tipos de interruptores de energia elétrica: o interruptor rotativo, é acionado através de uma chave rotativa; interruptores automáticos, quando há a troca de estado com alguma ação do próprio circuito; por ultimo os interruptores simples, muito utilizados nas tomadas de casa.

Dentre todos interruptores apresentados o automático é o que se tem um maior complexidade. Os automáticos possibilitam o controle de forma autônoma sobre sua atuação. Os relés, tanto de eletromecânico como de estado sólido, são exemplos de componentes utilizados como interruptores automático de energia. Esse tipo de componente permite que através de um elemento inteligente faça um controle de uma alta diferença de potencial através uma uma baixa diferença, de forma que dependendo do cenário possibilite essa interação de maneira pré programada.

2.1.3 Tratamento de Sinais de Sensores

Um sensor é um dispositivo capaz de detectar características físicas ou químicas do meio ambiente, seja para qual for sua construção. Juntamente com os transdutores são capazes captarem um estímulo e transformarem em sinais elétricos, mecânicos e entre outros. Cada sensor projetado tem-se uma imposição para a extração de seus dados e conseqüentemente manipula-lo para possíveis tomadas de decisões. Visto isso é preciso construir em alguns casos um sistema que possibilite a extração do dado de forma confiável. Em termos de eletreletrônica, um dos disponíveis mais utilizados para a captação dos dados dos

sensores são os microcontroladores.

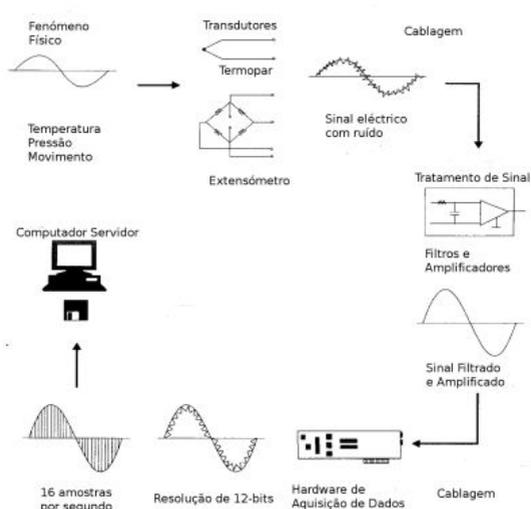
Antes que o microcontrolador começa a interpretar os dados é preciso tratá-los para que haja uma precisão sobre eles. Um dos maiores vilões quando o assunto são sensores são os ruídos. Ruídos são anomalia que são geradas, por muitas vezes, de forma inesperada nos equipamentos, podendo modificar as medições produzidas. Para evitar esse tipo de situação é preciso eliminar o ruído, uma das ações mais tomadas é o uso de filtros, que possibilitam a retirada desses sinais indesejados do sistema.

Além da retirada de ruídos é preciso verificar quais são os níveis de tensão e de corrente no funcionamento dos módulos, tanto do sensor como do microcontrolador, tendo uma segurança para que não danifique os aparelhos.

Com o sinal já tratado o próximo passo seria saber qual é a natureza dos sensores. Existem dois tipos de saída de sensores: digitais ou analógicos, dependendo de tipo de sinal coletado. Os sensores mais simples são os digitais, onde existem duas saídas possíveis, nesses casos os microcontroladores utilizam entradas digitais para reconhecer a saída dos sensores. Os sinais analógicas são um pouco mais complexos, pois é preciso de um conversor analógico-digital para que o microcontrolador possa interpretar os dados. Um dos teoremas que se deve se respeitar quando se quer se amostrar um sinal analógico é o de Nyquist, que impõe um período de amostragem no mínimo duas vezes menor que o período do sinal que está amostrando (FERNANDES; PANAZIO, 2009).

A figura 2 é uma representação de fluxo de aquisição de sinal de um sinal analógico e as etapas que são contempladas até ser representado o sinal. Além de realizar os passos já mencionados o sinal é enviado para um computador afim de realizar uma representação do sinal original, assim utilizando um conversor digital-analógico no microcontrolador.

Figura 2 – Fluxo aquisição de sinais



Fonte: (JOSÉ, 2015)

2.1.4 Sensor de Corrente Elétrica

Um das medições necessárias para definir o consumo de energia elétrica é a corrente elétrica. A corrente elétrica por definição é uma variação de carga por um determinado tempo em uma secção de material, $i = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$. A responsabilidade por esta movimentação de carga é atribuída por uma diferença de potencial, onde as cargas mais eletronegativas tendem ir do polo de menor potencial para o de maior potencial.

Para medição da corrente elétrica é preciso de um sensor capaz de adquirir esse valor e transformar-lo em um dado que seja capaz de ser interpretado pelo microcontrolador. Os sensores de corrente elétrica de maneira geral operam com extração do valor de corrente elétrica e como resposta desse valor uma tensão de saída. A extração do valor de corrente é dada pelo campo magnético gerado pela corrente em um material, $B = \frac{\mu_0 i}{2r\pi}$. Dessa maneira sugeriram três formas para se fazer a medição da corrente elétrica pelo efeito Hall, por indutância e por magnetorresistivo (DESK, 2015).

Efeito Hall é relacionado a geração da tensão hall. A tensão Hall

por sua vez é gerada quando uma carga está perpendicular ao campo magnético, por consequência os elétrons tendem a se manter na direção do campo assim formando duas camadas, positivas e negativa. Como consequência tem-se um potencial, e esse potencial é o resultado do sensor do tipo efeito hall.

Os sensores indutivos usam uma bobina, através da qual passa um fio transportador de corrente fazendo com que a energia flua na bobina, que é proporcional à corrente.

O efeito magnetorresistivo é propriedade de certos materiais para alterar o valor de sua resistência em função de um campo magnético aplicado a ele.

Além dos sensores que se baseiam em campo magnético existe a possibilidade encontrar o valor da corrente elétrica através da lei Ohm. Possuindo uma queda de tensão entre resistências é possível calcular sua corrente, encontrando o valor da queda de tensão por um divisor de tensão. Através deste método há a necessidade de se utilizar um sensor de tensão.

2.2 TENSÃO ELÉTRICA

No território brasileiro existem duas tensões monofásicas, de 127 volts e 220 volts alternada. Essas são ditas tensões nominais. Nem sempre as tensões nominais são as tensões reais, tensões que são fornecidas pelas distribuidoras de energia, para isso a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, determinou limites máximo e mínimos de variação de tensão segundo o artigo 4 de normais produzidas pelo órgão regularizador, que diz o seguinte "A tensão a ser contratada pela concessionária junto ao ONS deve ser a tensão nominal do sistema. Serão permitidas tensões contratadas entre 95% (noventa e cinco por cento) e 105% (cento e cinco por cento) da tensão nominal ou em extinção do sistema elétrico, mediante acordo entre as partes." (ANEEL, 2001).

Para a medição de uma diferença de potencial tanto alternada como contínua a forma mais utilizado é por um amplificador diferencial. O amplificador diferencial tem como funcionalidade subtrair suas entradas e uma saída como resultado da subtração. Existe a possibilidade calcular pela queda de tensão sobre uma carga resistiva, segundo a lei de Ohm, medindo sua corrente e tendo o conhecimento de tensão de um dos terminais da carga resistiva.

2.3 GERENCIAMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

No Brasil desde de 1957, Decreto 41.019, a instalação dos sistemas de medições são responsabilidades das distribuidoras de energia elétrica, fornecendo o aparelho de monitoramento para o usuário. O aparelho de monitoramento é estabelecido um padrão da própria distribuidora, porém qualquer mudança do aparelho deverá ser comunicada as partes interessadas.

Para a medição de consumo de energia elétrica existem dois principais grupos de consumidores de energia elétrica, o grupo A e o grupo B (LOPES, 2002). A diferenciação dos grupos é principalmente pelo fornecimento da diferença de potencial no local que é fornecido, onde o grupo B tem como característica ser no máximo 2300V e o grupo A acima dos 2300V fornecido pela distribuidora. Para distribuição de energia elétrica para o grupo A o fornecimento é controlado, assim sendo estipulado um valor máximo oferecido pelas distribuidoras de energia elétrica, se o estabelecimento produzir uma sobrecarga na rede será punido. A cobrança de energia elétrica em condições normais é de forma tabelada, com o propósito de atender os grupos conforme suas necessidades. A medição é correspondente energia ativa (kWh), isso significa que consumo = $\frac{\text{tensão} \times \text{corrente}}{1000 \times 3600}$ [VI/S], o valor atribuído é pelo fornecimento de potência elétrica por um determinado tempo. Além da energia ativa em alguns casos é cobrado uma taxa sobre a energia reativa, que juntamente com a energia ativa compõem a energia aparente, a qual seria a energia total fornecida pela distribuidora. A potência reativa é utilizada para geração campo magnético em cargas indutivas ou capacitivas, não gerando trabalho. As distribuidoras só cobram pela potência reativa quando o fator de potência é inferior a 0,92 (GARCIA, 2018), um fator que relaciona a potência ativa com a aparente. Essa cobrança é pela má utilização da instalação elétrica e pela sobrecarga.

Aspecto como alteração no processo de captação de energia, seja por dificuldades ou por novos meios, é um dos causadores de reajuste nas tarifas de consumo, ações como essas que implicaram para a criação do Sistema de Bandeiras Tarifárias, criado em 2015 (GILBERTO; DIAS; SMITH, 2016). Esta prática acarretou uma alteração na maneira de cobrança aos consumidores, onde conforme a dificuldade da extração da energia elétrica um valor diferente será cobrado, apenas o estado de Roraima não está contemplado com essa lei. Em alguns casos extremos a energia elétrica é racionada afim de controle de fornecimento para

que haja um maior aproveitamento.

Figura 3 – Tarifas Energia Elétrica



Fonte: (SGT, 2015)

Conforme a figura 3, além das tarifas as distribuidoras cobram uma taxa mínima pelos serviços, indicadas como encargos setoriais na figura. Pode-se verificar que apesar processo de cobrança ser separado em três partes, é um processo muito suscetível a mudanças de valores e isso foi um dos motivos para o controle de consumo de energia elétrica.

2.4 PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO PARA IOT

Um das necessidades do projeto é troca de informação entre o dispositivo e o servidor, de maneira que não houvesse intervenção humana para que a comunicação entre as partes acontece periodicamente. Um dos primeiros paradigmas criados para comunicação foi o Humam-to-humam(H2H), o principal exemplo é as chamadas telefônicas, esse tipo de comunicação não contempla o que é procurado para o projeto, já que as informações vinda dos módulo tem que ser salvar com uma frequência, sem que o usuário necessite solicita-las. Para essas fraquezas surgiram protocolos que possuíssem o paradigma Machine-to-Machine(M2M), isso quer significa que as máquinas pudessem se comunicar sem nenhuma intervenção humana(LO et al., 2011). Protocolos como o MQTT (Message Queue Telemetry Transport) , o CoAP (Constrained Application Protocol) e o AMQP (Advanced Message Queuing Protocol) (MAZZER; FRIGIERI; PARREIRA,) são exemplos de protocolos que possuem este paradigma.

2.4.1 MQTT

Quando se envolve internet das coisas em um projeto se estimasse que múltiplos dispositivos irão enviar dados pela rede na qual esta navegando. Uma questão que se deve levar em conta é baixa capacidade

computacional de um dispositivo e a limitação do meio que se propaga os dados. Tendo o conhecimento dessas fragilidades, a IBM no final dos anos 90 criou o protocolo MQTT.

O protocolo MQTT tem como objetivos reduzir o tamanho do header das informações de um pacote que serão transmitidas, que seja orientado a Machine-to-Machine e não deixando de ser um protocolo seguro.

Figura 4 – Comparação de Protocolos

Criteria	MQTT	CoAP	AMQP	HTTP
1. Year	1999	2010	2003	1997
2. Architecture	Client/Broker	Client/Server or Client/Broker	Client/Broker or Client/Server	Client/Server
3. Abstraction	Publish/Subscribe	Request/Response or Publish/Subscribe	Publish/Subscribe or Request/Response	Request/Response
4. Header Size	2 Byte	4 Byte	8 Byte	Undefined
5. Message Size	Small and Undefined (up to 256 MB maximum size)	Small and Undefined (normally small to fit in single IP datagram)	Negotiable and Undefined	Large and Undefined (depends on the web server or the programming technology)
6. Semantics/ Methods	Connect, Disconnect, Publish, Subscribe, Unsubscribe, Close	Get, Post, Put, Delete	Consume, Deliver, Publish, Get, Select, Ack, Delete, Nack, Recover, Reject, Open, Close	Get, Post, Head, Put, Patch, Options, Connect, Delete
7. Cache and Proxy Support	Partial	Yes	Yes	Yes
8. Quality of Service (QoS)/ Reliability	QoS 0 - At most once (Fire-and-Forget), QoS 1 - At least once, QoS 2 - Exactly once	Confirmable Message (similar to At most once) or Non-confirmable Message (similar to At least once)	Settle Format (similar to At most once) or Unsettle Format (similar to At least once)	Limited (via Transport Protocol - TCP)
9. Standards	OASIS, Eclipse Foundations	IETF, Eclipse Foundation	OASIS, ISO/IEC	IETF and W3C
10. Transport Protocol	TCP (MQTT-SN can use UDP)	UDP, SCTP	TCP, SCTP	TCP
11. Security	TLS/SSL	DTLS, IPSec	TLS/SSL, IPSec, SASL	TLS/SSL
12. Default Port	1883/ 8883 (TLS/SSL)	5683 (UDP Port)/ 5684 (DLTS)	5671 (TLS/SSL), 5672	80/ 443 (TLS/SSL)
13. Encoding Format	Binary	Binary	Binary	Text
14. Licensing Model	Open Source	Open Source	Open Source	Free
15. Organisational Support	IBM, Facebook, Eurotech, Cisco, Red Hat, Software AG, Tibco, ITSO, M2Mi, Amazon Web Services (AWS), InduSoft, Fiorano	Large Web Community Support, Cisco, Contiki, Erika, IoTivity	Microsoft, JP Morgan, Bank of America, Barclays, Goldman Sachs, Credit Suisse	Global Web Protocol Standard

Fonte: (NAIK, 2017)

A figura 4 é o resultado da pesquisa do autor Sagar P Jaikar, cujo o tema é "Levantamento de protocolos de mensagens para sistemas IoT"(NAIK, 2017), que produziu um levantamento dos principais protocolos de comunicação IoT e comparou-os.

Um aspecto que deve ser considerado é a segurança, tendo a

necessidade nos projetos de que as mensagens enviadas realmente cheguem ao destinatário o protocolo MQTT oferece os três níveis QoS(Quality of Service)(BARROS, 2015). Como mostrado na figura 4, a qualidade de serviço é separada em três níveis.

- QoS 0 (at most once): Este nível não se tem a obrigação de ter a confirmação de entrega, sem a necessidade de manter a conexão e com isso deixando mais rápido a transmissão, se assemelha com UDP, dependendo dos caso é uma boa opção.
- QoS 1 (at least once): A entrega tem que ter a confirmação, assim se tem a certeza de recebimento da mensagem, se não houver a confirmação haverá outra tentativa de entrega da mensagem
- QoS 2 (exactly once): Tanto a entrega como o recebimento são confirmados, esse nível é o mais seguro porem é o que mais precisa de tempo de estabelecido de conexão.

Como já mencionado, um dos problemas quando o assunto é equipamentos IoT é a transferência de dados, uma vez que nem todos os lugares que são utilizados esse tipo de equipamento têm uma estrutura que suporte as informações que são transmitidas. Para isso o protocolo MQTT reduziu o tamanho do pacote que é transmitido para que redes mais precárias serem capazes transmitirem os dados. Como se percebe na imagem 4, o protocolo MQTT é o protocolo que tem o menor tamanho de header, acarretando assim em um tamanho menor para os pacotes trafegados na rede.

Tabela 1 – *Header* dos pacotes de dados

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Byte 1	Tipo de Mensagem				DUP	QoS		RETAIN
Byte 2	Comprimento da Mensagem							

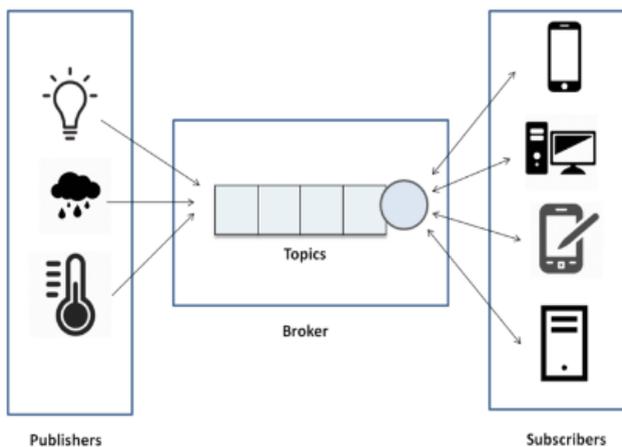
Com os dois bytes de *header*, as informações do protocolo são estabelecidos no *header* dos pacotes que são enviados. No bit 1 é definido o tipo de mensagem, no total são 14 tipos de mensagens como por exemplo se o cliente quer se conectar no broker, se é uma mensagem de publicação, se é uma confirmação de recebimento de mensagem, assim por diante. o DUP é uma *flag* que indica que os clientes tentaram reentregar as mensagens. O QoS é qualidade do serviço, como já explicados os tipos. O *retain* é um *flag* que quando indicada como verdadeiro a

mensagem fica retida no *broker*. Por último o bit 2 é dedicado a informar o tamanho da mensagem, incluindo o *payload* e do *header*.

Quanto ao seu funcionamento, ele é dado por três responsáveis, os publishers os subscribers e o *broker*. O *broker* é o destinatário de todas as mensagens enviadas e o distribuidor dessas mensagens. O publisher é quem vai enviar as mensagens para o *broker*. Já o subscriber é quem vai receber essas mensagens. As mensagens são organizadas em tópicos, uma espécie de diretório, onde cada tópico vai possuir uma finalidade diferente, para não sobrepor os dados, exemplo: um dispositivo pode monitorar a temperatura e a umidade do ar, quando o dispositivo for enviar o dado, ele vai enviá-los em dois tópicos distintos, um para o sensor de umidade e outro para o de temperatura.

Uma grande vantagem dessa arquitetura é que os publishers e subscribers podem mudar dinamicamente, sem a necessidade de avisar os envolvidos do sistema. Assim o dado precisará só ser enviado para *broker*, de modo que o sistema continuará funcionando normalmente e caso um dispositivo falhar, novos poderão ser adicionados sem nenhum problema, sem a necessidade dos publishers and subscribers estarem cientes do acontecimento, tendo apenas o conhecimento do tópico destino já satisfaz a continuidade da sua funcionalidade.

Figura 5 – Arquitetura Mqtt



Fonte: (JAIKAR; IYER,)

A figura 5 mostra a forma como interagem os elementos que

compõe o protocolo MQTT. Não apenas os usuais servidores podem ter acesso aos tópicos, podendo existir mais clientes no mesmo tópico conectado.

3 DESENVOLVIMENTO

A partir dos levantamentos produzidos até o momento iniciou-se o desenvolvimento do sistema, dividindo em duas partes: um módulo, que colete os dados necessários, e um sistema que disponibilize esses dados aos usuários de forma íntegra e contextualizada.

3.1 LEVANTAMENTO DE REQUISITOS

Assim que abordado os objetivos da pesquisa é preciso definir as ferramentas e qual o processo para concluir os objetivos. Antes de tudo devesse determinar as funcionalidades necessárias para o sistema e logo em seguida estabelecer as ferramentas a serem utilizadas.

Como o sistema vai abordar tanto um monitoramento de energia como a possibilidade a interação com o eletrodoméstico, foram definidos dois tópicos para estabelecer as abordagens de um usuário dentro do sistema.

3.1.1 Programar Comportamento

- O usuário tem a possibilidade de selecionar a tensão elétrica da tomada da residência, podendo ser entre 110V ou 220V. As opções irá acarretar no cálculo de consumo de energia elétrica.
- O usuário tem a possibilidade de manter o estado do aparelho ligado ou desligado. Se o aparelho for ligado/desligado manualmente, o sistema irá identificar a alteração e atualizará.

3.1.2 Monitorar

- O consumo de potência elétrica instantânea (medida através do sensor de corrente elétrica), e o histórico do consumo. O histórico será apresentado através de um gráfico.
- O estado da tomada, sendo ligada ou desligada. O estado da tomada será apresentado no próprio botão que altera o mesmo.
- O consumo de energia elétrica será acumulado e apresentado a cada um mês. Tendo a possibilidade de visualização do tempo

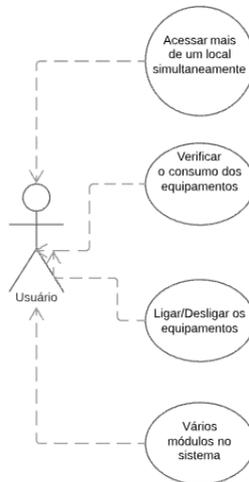
de vida do aparelho eletrônico e seu desempenho ao passar do tempo.

- O consumo em de energia elétrica em horários, para ter o conhecimento dos períodos que são mais utilizados o equipamento eletrônico.

3.1.3 Diagrama Estudo de Caso

O diagrama da figura 6 demonstra as funcionalidades idealizadas para que o módulo precisa atender. Alguns aspectos devem ser ressaltados e levantados no decorrer do trabalho, como tecnologias que consigam entregar as condições pretendidas. Para isso, foi necessário verificar quais os materiais que poderiam concretizar essa demanda enquanto mantendo o sistema de baixo custo.

Figura 6 – Diagrama Estudo de Caso



Fonte: Autor

Neste trabalho será medida a potência aparente e não a potência ativa (sobre a qual é cobrada o consumo de energia). Para cargas resistivas, o valor encontrado não sofrerá alteração em relação a potência ativa. Porém, para cargas indutivas e capacitivas, seu valor pode sofrer alteração. Considerando que um ambiente residencial não ultrapasse o valor mínimo de 0,92 de fator de potencia, o máximo de variação que

o consumo irá variar será 8%, sendo que a potência ativa é dado por:

$$PA = V \cdot I \cdot FP \quad (3.1)$$

Onde na equação 3.1 o PA é a potência ativa e FP é fator de potência. O fator de potencia pode ser encontrado além da relação entre potência aparente com a potência ativa, também pela defasagem de fase entre a corrente elétrica pela tensão da residência (MARCELINO, 2013).

3.2 COMUNICAÇÃO

Um dos aspectos que é mais delicados na construção do módulo é o tráfego de dados. Para tal, foram estudados os meios responsáveis por transportar as informações do sistema.

3.2.1 WIFI

Para que haja o envio de dados pelo módulo é preciso de um protocolo que não opere de forma cabeada, pois o projeto implica no desenvolvimento de módulos não fixos, e que seja de grande uso nas residências. No caso do sistema a tecnologia utilizada para desempenhar esse papel é o protocolo *IEEE 802.11*, com versões utilizadas b/g/n. Os motivos os quais foram relevantes para a escolha dessa tecnologia foram:

- Custo: o módulo *ESP8266* já possui antena embutida para transmissão dos dados e sua comunicação é o próprio protocolo *IEEE 802.11*. O fato de já estar integrado causa um barateamento no preço final.
- Vasta Utilização no Mercado : O protocolo *IEEE 802.11* é o mais utilizado no mercado indoor(Dentro de casa), de forma fácil utilização para usuário final.
- Sobrepor Diversas Redes: O roteador, no qual o módulo *ESP8266* estará conectado, não necessita estar dedicado a uma única conexão, assim, não haverá interrupção no funcionamento do roteador, continuando o usuário a utilizar o mesmo com outros dispositivos. (VELLOSO et al., 2004)
- Velocidade de transmissão: Em relação a melhor versão utilizada

no projeto, que é do tipo n, a taxa de transferência dos pacotes de dados é capaz de chegar a uma velocidade de 150 Mbit/s, porém a velocidade dependerá da infraestrutura da rede na qual esta instalado o módulo.

- Distância: O usuário tem a possibilidade de instalar o módulo até uma distância de 90 metros do *access point*, segundo as especificações técnica do módulo *ESP8266*.

3.2.2 Broker

Para a escolha do responsável a desempenhar o papel de *broker* no sistema, as possibilidades eram utilizar um *broker* já disponível no mercado ou desenvolver um do princípio. A escolha foi utilizar um Broker já implementado devido a questões de segurança, possibilidade de uso para vários usuários e disponibilidade de documentação e fóruns para tirar dúvidas dos usuários. Na procura dos mais acessíveis *brokers* a pesquisa (TORRES; ROCHA; SOUZA, 2017), levantou os requisitos que atenderão as exigências do módulo que esta sendo produzido, que são ser de baixo custo e ter um bom desempenho. Dessa forma, o *broker* eleito foi o Mosquitto devido a seu desempenho em velocidade, vazão, numero de conexão suportadas, entre outras."

3.3 SOFTWARE E FIRMWARE

3.3.1 Firmware do ESP8266

A linguagem de programação interpretada para o ESP8266 é o Lua e C++. No entanto, há uma vasta quantidade de bibliotecas produzidas na linguagem C++. Devido a este motivo e por o autor ter um bom conhecimento sobre sobre ela, a linguagem C++ foi escolhida para o Firmware. A ferramenta utilizada para o desenvolvimento do firmware para o ESP8266 foi a IDE (Interface de Desenvolvimento) do Arduino.

3.3.2 Software do Servidor

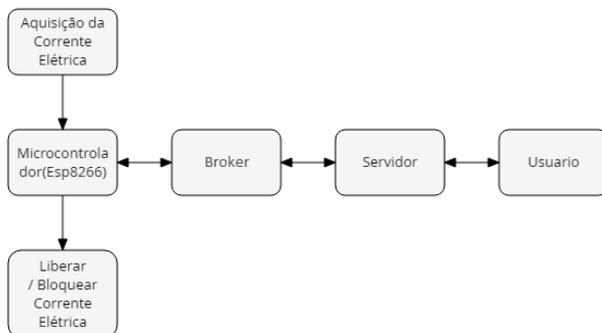
Para a construção do servidor é utilizado duas direções de trabalho, uma para construção do frontend, responsável pela parte visual do

sistema, e o backend, responsável pela manipulação e armazenamento de dados. O frontend tem como linguagens utilizadas HTML, CSS e JavaScript, já para o backend é utilizado C# e SQL para armazenamento dos dados.

3.4 CONSTRUÇÃO

Para a construção do projeto foi integrado as partes apresentadas até aqui, as tecnologias abordadas.

Figura 7 – Diagrama de blocos do sistema



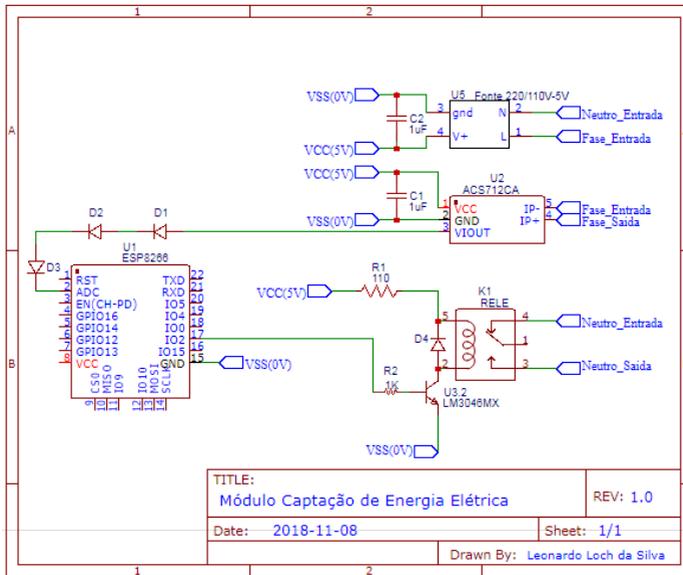
Fonte: Autor

A figura 7 é o é um diagrama de blocos com as partes que compõem o sistema. Para utilizar o módulo construído é preciso conectar a tomada de alimentação do eletrodoméstico no módulo e o "plug" do módulo na tomada que será monitorada. A figura ?? ilustra o que foi dito acima.

3.4.1 Módulo

Como já mencionado, é preciso construir um módulo seja capaz de extrair o valor da corrente elétrica, desligar e ligar o aparelho conectado ao módulo e transferir os dados coletados dados.

Figura 8 – Esquemático do módulo



Fonte: Autor

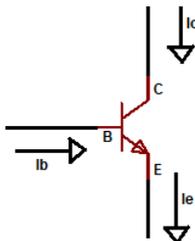
A figura 8 é um esquemático do módulo, todas as tensões de 5V são originadas de um transformador de tensão alimentado pela própria rede elétrica da residência. O módulo *WiFi* não está sendo representado por estar acoplado internamente no ESP8266, microcontrolador utilizado, assim, não sendo acessível aos projetistas.

Os capacitores desacoplamento entre os terminais de saída da fonte e da alimentação do sensor de corrente elétrica estão presentes para que não haja mudanças repentinas em suas tensões devido a fontes de ruído. Esse capacitor se comporta como um filtro, eliminando ruídos de alta frequência. A utilização é proposta pelos próprios datasheets dos componentes.

Para acionar o relé utilizado no projeto é preciso uma queda de tensão de 5V e uma corrente no mínimo de 25mA. Essa corrente não é possível ser fornecida pelo microcontrolador, sendo no máximo de corrente fornecida pelo dispositivo de 12mA. Dessa forma, foi preciso utilizar um transistor de junção bipolar (TJB) do tipo NPN para atuar

como chave.

Figura 9 – Transistor NPN



Fonte: Autor

O transistor possui três terminais: coletor, base e emissor. A região de operação do transistor bipolar é dado pela polarização de suas junções.

No modo ativo, a junção base-emissor (JBE) está diretamente polarizada e a junção coletor-base (JCB) está reversamente polarizada. Este modo é comumente utilizado para realizar amplificadores. Nesse modo, a corrente do coletor é dado pela equação 3.2.

$$I_C = \beta \cdot I_B \quad (3.2)$$

Por outro lado, quando o transistor é utilizado como chave (como nesta aplicação), ele operará ou na região de corte (quando atua como chave aberta) ou na região de saturação (quando atua como chave fechada).

Para colocá-lo na região de corte, a JBE e a JCB devem ficar reversamente polarizadas. Na presente aplicação, basta fazer a tensão que está conectada ao resistor de base (provida pelo microcontrolador) ser igual a zero.

Para colocá-lo na região de saturação, a JBE e a JCB devem estar diretamente polarizadas. Nesse caso, a tensão $V_{CE} \approx 0,2$. Assim, a corrente do coletor não será mais igual a corrente da base vezes um fator constante, mas sim dependerá da carga no circuito. Nesse modo, a corrente do coletor é dado pela equação 3.3.

$$I_{C\text{sat}} = \beta_{\text{forçado}} \cdot I_B \quad (3.3)$$

O $\beta_{\text{forçado}}$, que é o parâmetro que relaciona corrente do coletor na saturação com a corrente de base, deve ser inferior ao β do transistor. Como o β é um parâmetro que varia de acordo com a temperatura e

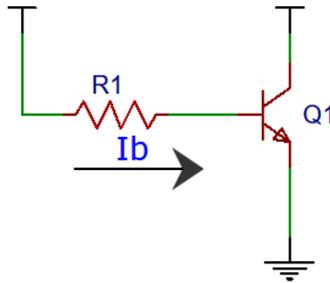
condições de teste, em geral considera-se que o $\beta_{\text{forçado}} < \beta_{\text{min}}$ para garantir que o transistor esteja em saturação.

A corrente de base limiar para garantir a saturação ($I_{B_{LPS}}$) é dada pela relação entre a corrente máxima no coletor ($I_{C_{max}}$) pelo β_{min} . Em nosso caso, a corrente máxima do coletor aproximadamente 45 mA e o β_{min} é 100, resultando em $I_{B_{LPS}} = 0,45$ mA.

Além disso, um fator forçado é utilizado para fornecer margem de segurança. Inicialmente, foi calculado o maior fator forçado possível devido a limitação de corrente do terminal de saída do microcontrolador (12 mA). Assim, para a corrente de base de 12 mA, o fator forçado resulta em aproximadamente 26 vezes a corrente mínima para garantir a saturação.

Para obter a corrente de base controlar a corrente da base é preciso utilizar uma resistência na base.

Figura 10 – Esquemático para cálculo para valor do resistor



Fonte: Autor

Analisando o circuito da figura 10 tem-se uma queda de tensão base-coletor do transistor igual a 0,7V, logo:

$$\begin{aligned} \Delta V_{\text{resistor}} &= 5 - 0,7 \\ \Delta V_{\text{resistor}} &= 4,3 \end{aligned} \quad (3.4)$$

Utilizando a lei ohm pode-se encontrar a resistência para uma

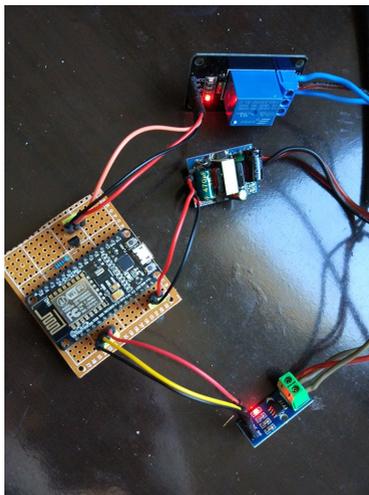
corrente de 12mA.

$$\begin{aligned}\Delta V_{resistor} &= R \cdot I \\ 4,3 &= R \cdot 0,012 \\ R &= 358,34\Omega\end{aligned}\tag{3.5}$$

No projeto, no entanto, foi utilizado uma resistência de 1k Ω por este valor também garantir que o transistor esteja em saturação quando acionado por uma tensão de 5V no resistor de base. Esse valor de resistência diminui o fator forçado para aproximadamente 10 vezes.

O diodo em paralelo com o relé, é uma forma de proteção para o circuito. Os terminais do relé energizado não influenciaram o diodo, pois está inversamente polarizado. Porém quando o transistor estiver em corte a bobina do relé irá gerar tensão entre seus terminais por não permitir interrupção instantânea da corrente. Uma forma de evitar que essa sobretensão danifique o circuito é a inserção do diodo de forma que forneça um caminho para descarregar essa tensão.

Figura 11 – Foto posicionamento dos hardwares



Fonte: Autor

A figura 11 é a representação real do arranjo dos componentes.

3.4.2 Sensor de Corrente Elétrica

Para que a aquisição do sinal de corrente seja feita apropriadamente, é preciso estabelecer um período de amostragem que evite problemas de *aliasing*. Para isso, é preciso respeitar o Teorema de Nyquist, como já mencionado na revisão teórica.

Considerando que a energia elétrica tem como uma frequência de 60 Hz, o período do sinal da rede elétrica é igual 0.016 s, logo para adquirir o sinal deve-se ter uma taxa de amostragem de no mínimo de 0.008s. Para efeito de valores reais foi construído um cenário que medisse a velocidade de amostragem do conversor analógico digital do microcontrolador ESP8266, como resultado foi obtido um valor de $107\mu\text{s}$, resultando em um número maior de amostras que o necessário.

O sensor tem como limite de corrente de leitura de -20A a +20A, sendo que sua saída 0V para -20A e 5V para +20. Segundo seu *datasheet*, a variação de saída é 100 mV/A. Além disso, o sensor tem como resposta 2,5V para uma corrente com um valor de 0V. Levando em conta que a tensão máxima de entrada do conversor analógico-digital é de 3,3V e a variação de saída do sensor é de 100mA/V, logo a máxima corrente medida seria de 8A. Por esse motivo foi utilizado três diodos para fazer um *offset*. O diodo começa em operação com uma queda de tensão de 0,7V, logo toda a tensão de saída será reduzida em 2,1V, como são três diodos, e a leitura do sensor será a partir dessa tensão, como não importa a corrente negativa, pois é medindo o pico da senoidal e parte positiva já contempla o caso, por isso é desprezado as tensões de saída do sensor até 2,5V. Com o diodo a corrente máxima medida são os 20A. No próprio firmware do ESP8266 foi criado um *offset* para considerar a leitura de 0,4V como o novo zero do sistema que o conversor informa.

Na captação dos dados pelo sensor de corrente foi construído um filtro digital, para evitar sinais anômalos, como possíveis ruídos. O filtro utilizado é conhecido como média ponderada. Seu funcionamento é dado por uma média móvel, fazendo uma média de cada aquisição de um novo dado, assim para cada média nova é descartado o valor mais antigo e adicionado o novo.

$$y = \sum_{K=0}^N x[K] \frac{1}{N+1} \quad (3.6)$$

Dado a equação 3.6, o N para o projeto é igual a 50, assim uma média entre 50 amostras.

Para fazer os cálculos necessário para estabelecer o consumo é preciso converter o valor de pico de corrente em valor RMS(do inglês *Root Mean Square* ou valor quadrático médio), este é o valor eficaz que é consumido pelo eletrodoméstico.

$$I_{RMS} = \frac{I_{pp}}{\sqrt{2}} \quad (3.7)$$

A equação 3.7 é cálculo necessário para encontrar o valor de corrente em RMS. I_{pp} é o valor de pico da corrente e I_{rms} é a corrente rms.

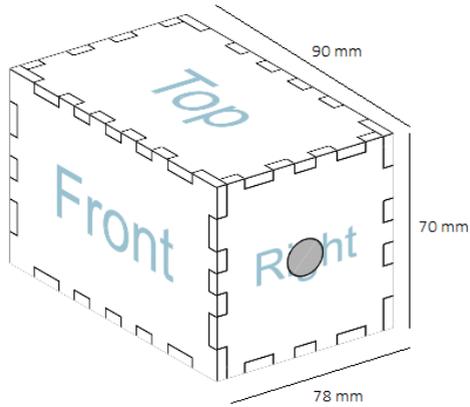
3.4.3 Proteção do Módulo

Para que seja isolado qualquer tipo de possível contato entre o usuário e a energia que pela pelo módulo foi projetado uma proteção. Para que pudesse comportar todos os componentes, foram medidas as dimensões dos componentes que compõem o módulo.

Tabela 2 – Dimensões dos componentes do módulo

Dimensões	Altura[mm]	Comprimento[mm]	Largura[mm]
Microcontrolador	10	60	54
Sensor de Corrente	20	30	10
Relé	30	30	30
Fonte de Alimentação	25	30	15

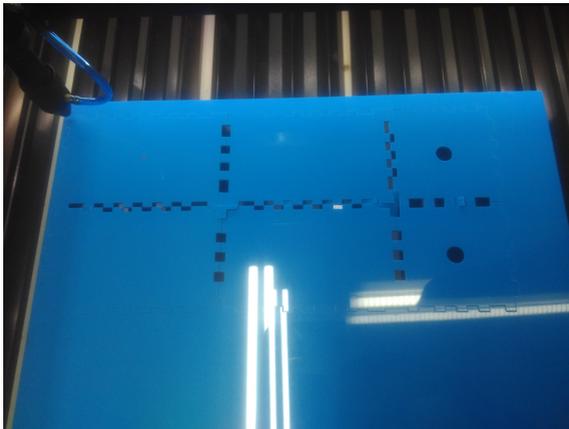
Figura 12 – Prototipação da proteção do módulo



Fonte: Autor

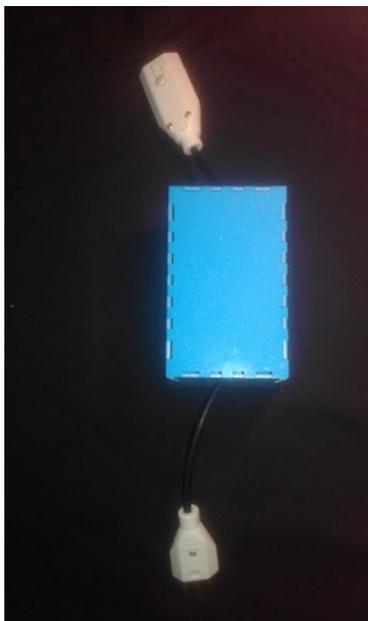
A figura 12 é a representação da proteção do módulo que foi produzida. Para construir o caixa de proteção do módulo foi utilizado como material o acrílico de 2mm de espessura, cortado por uma máquina de corte a laser de CO₂, com um comprimento de onda de 10.6 nanômetro e com uma potência de laser de 100 w.

Figura 13 – Foto fabricação da proteção do módulo



Fonte: Autor

Figura 14 – Foto da caixa de proteção com o módulo



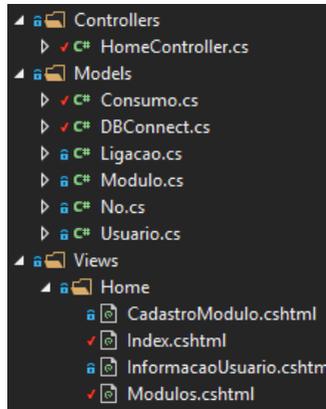
Fonte: Autor

A figura 13 foi o processo de corte na máquina de corte a laser e a figura 14 é a representação do módulo já com sua proteção.

3.4.4 Web Service

Nesta seção irá tratar da construção da plataforma onde o usuário terá o acesso as informações geradas pelo módulo. Para a construção do sistema foi utilizado como IDE Visual Studio 2017, Visual Studio Community 2017, que é disponibilizado sem custos. O Visual Studio oferece suporte para desenvolvimento web e disponibilizar uma programação com a arquitetura de software MVC. O MVC é uma arquitetura que tem como paradigma trabalhar em camadas, C de *controller*, V de *view* e M de *model*. A separação em três camadas proporciona uma melhor visibilidade no trabalho de construção de um sistema, com cada camada tendo uma funcionalidade.

Figura 15 – Diretório do Projeto

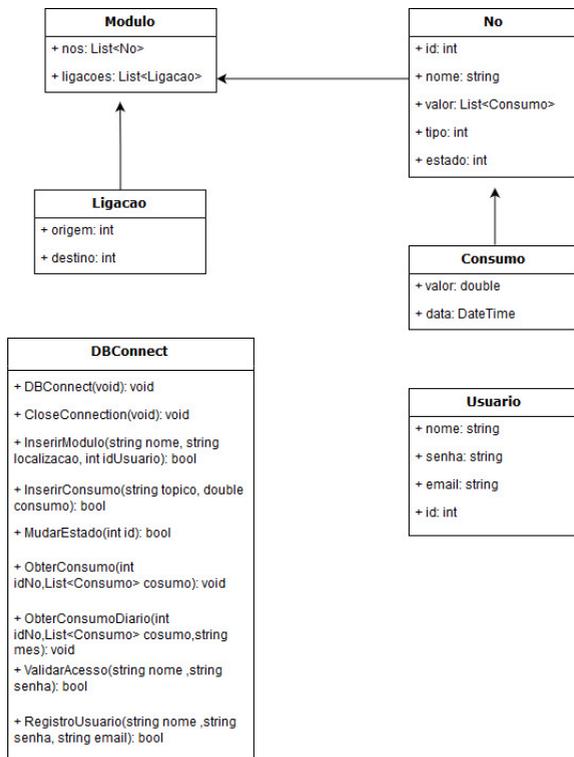


Fonte: Autor

A figura 15 é como foi organizado o projeto do servidor, onde cada arquivo é está armazenado seguindo a arquitetura de software MVC.

Cada camada da arquitetura MVC tem sua funcionalidade diante o sistema. A camada controller é a camada intermediária entre a view e a model, é responsável em controlar todas as ações, organiza o sistema por meio de métodos, decisões e estratégias para atender às requisições dos usuários. A camada view é responsável pela camada de apresentação ao usuário. Interação gráfica com os códigos *frontends*. Disponibiliza também a entrada de dados para a model. A view não tem ciência de qual será sua fonte de dados, apenas exibe a informação no browser para o usuário. A View irá apenas exibir o que a controller definir. A camada model manipula e modela os dados gerenciando o comportamento da aplicação, é responsável pela validação dos dados e estabelece regras de negócio (acesso e modificação aos dados). Uma consulta estará disponível para acessos vindos de requisições distintas.

Figura 16 – Diagrama de Classes

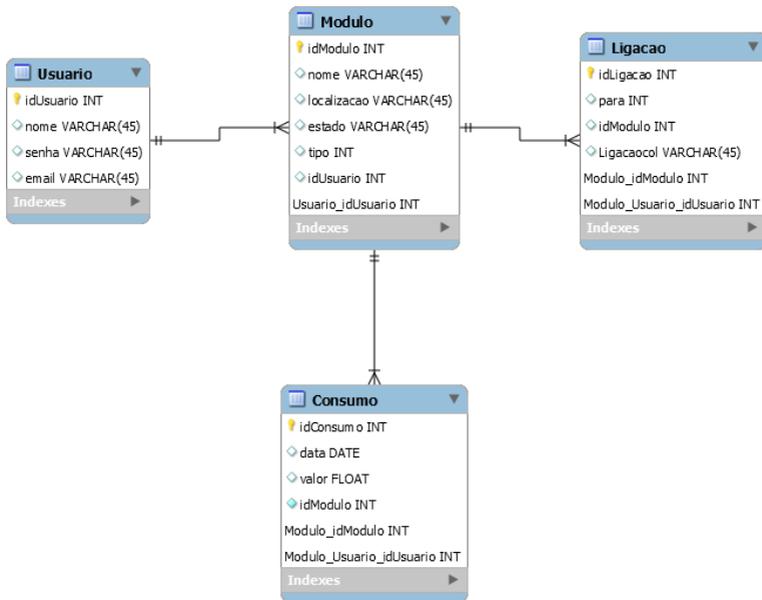


Fonte: Autor

A figura 16 é o diagrama de classe do projeto com as interações das classes.

Para que haja a possibilidade de acompanhar o consumo de energia elétrica no módulo é preciso que mantenha os dados de consumo armazenado. Tendo essa necessidade foi preciso construir um banco de dados para armazenar os dados do sistema. Em função disso foi utilizado o MySQL Workbench como SGBD (Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados) .

Figura 17 – Esquemático do Banco de Dados



Fonte: Autor

A figura 17 é a representação da interação das tabelas utilizadas no banco de dados e cada tabela tem seu atributo que é utilizado no sistema.

3.4.5 MQTT

Como já apresentado, o protocolo MQTT funciona com tópicos para armazenamento de dados, assim para cada módulo deverá ter um tópico para que não haja sobreposição de informação. Considerando o fato foi implementado um padrão para o tópico.

Para valor de consumo do módulo:

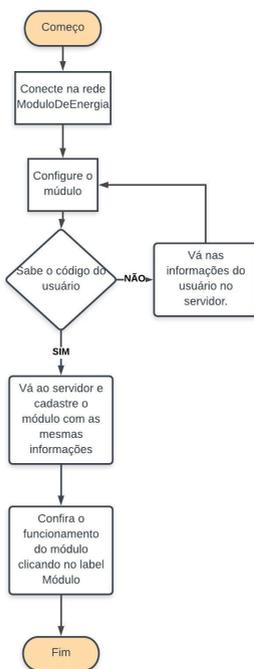
IdDoUsuario/NomeDoComodo/NomeDoEletrodomestico/Consumo

Para trocar o estado do módulo:

IdDoUsuario/NomeDoComodo/NomeDoEletrodomestico/Estado

3.5 FUNCIONAMENTO

Figura 18 – Fluxograma de funcionamento do sistema



Fonte: Autor

A figura 18 é uma representação do fluxograma de funcionamento do sistema, com os passos que devem ser seguidos para o usuário poder utilizar o sistema.

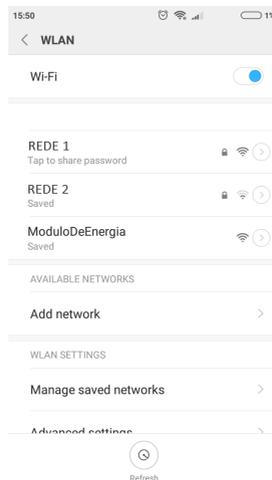
3.5.1 Módulo

Assim que o módulo é energizado ele se comporta como *access point*, uma espécie de modem. Este comportamento é utilizado para que o usuário se conecte a rede interna do módulo e possa dar o *setup* inicial, como informar o *WIFI* e a senha da rede local, a qual o módulo irá utilizar para enviar as informações para o *broker*, e seu nome, localização e o código do usuário, informações que compõem o tópico no qual a informação irá ser enviada.

O módulo vai enviar dado a cada 1 segundo, calculando o consumo médio durante esse tempo. O valor enviado é em watts.

Para efetuar a inserção das informações de conectividade com a internet no módulo foi utilizado uma biblioteca produzida para o ESP8266 chamada *Wifimanager*. A aplicação permite a criação de uma rede que usuário poderá conectar, feito isso abrirá uma tela com as redes próximas ao módulo, permitindo assim configurar o módulo a uma rede que possui acesso a internet. Logo abaixo terá campos de inserção do código do usuário, cômodo e o nome do módulo, informações necessária para o tópico do MQTT.

Figura 19 – Imagem da rede criada



Fonte: Autor

Figura 20 – Ilustração dos campos a serem preenchidos

15:43 ModuloDeEnergia 3%

Cancel OK

Connect automatically

REDE 1 80%
REDE 2 38%

SSID
password

Codigo do Usuario
Comodo
Nome do Modulo
Tensao da Residencia

save

[Scan](#)

Fonte: Autor

Figura 21 – Ilustração campos preenchidos

15:47 ModuloDeEnergia 1%

Cancel OK

Connect automatically

REDE 1 88%
REDE 2 40%

REDE 1
.....

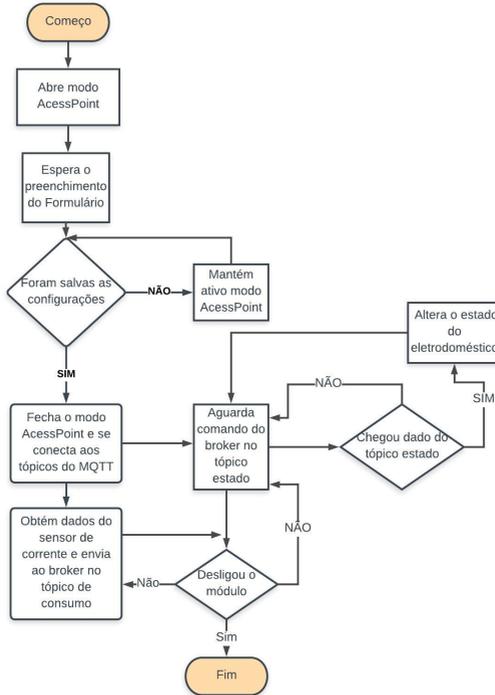
5
Quarto
Tv
220

save

[Scan](#)

Fonte: Autor

Figura 22 – Fluxograma de funcionamento do módulo

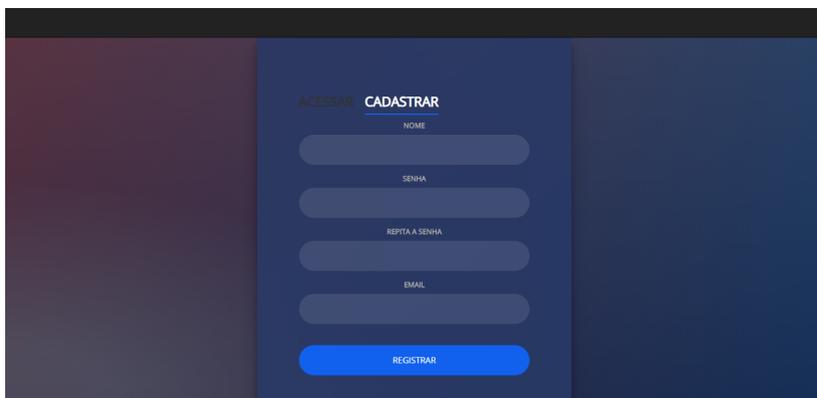


Fonte: Autor

3.5.2 Servidor

Para o primeiro acesso do usuário deverá se cadastrar no sistema, informando um login e uma senha. Com o novo registro no sistema será atribuído um código ao usuário, que irá compor o tópico no *broker*.

Figura 23 – Foto cadastro de usuário

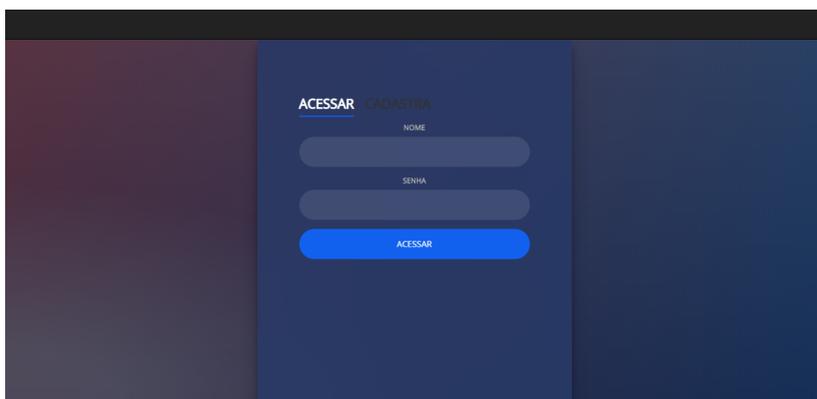


The screenshot shows a user registration form on a dark blue background. At the top, there are two tabs: 'ACESSAR' and 'CADASTRAR', with 'CADASTRAR' being the active tab. Below the tabs are five input fields: 'NOME', 'SENHA', 'REPITA A SENHA', and 'EMAIL'. Each field is represented by a rounded rectangular box with a light blue border. At the bottom of the form is a prominent blue button labeled 'REGISTRAR'.

Fonte: Autor

Se já possuir um cadastro no sistema poderá acessar direto, informando o login e a senha de cadastro.

Figura 24 – Foto login do usuário



The screenshot shows a user login form on a dark blue background. At the top, there are two tabs: 'ACESSAR' and 'CADASTRAR', with 'ACESSAR' being the active tab. Below the tabs are two input fields: 'NOME' and 'SENHA'. Each field is represented by a rounded rectangular box with a light blue border. At the bottom of the form is a prominent blue button labeled 'ACESSAR'.

Fonte: Autor

Assim que o usuário acessar o sistema terá a disposição três paginas; Módulos, Cadastro de Módulos e Informações do Usuário.

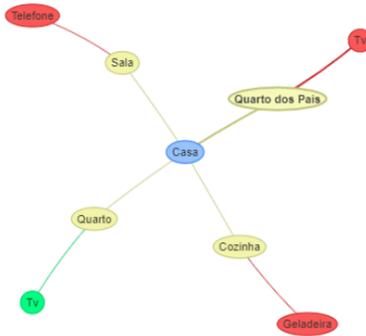
Figura 25 – Foto do layout acesso do usuário

Projeto de Monitoramento Consumo de Energia Elétrica Módulos Cadastro de Módulos Informações do Usuário

Fonte: Autor

Na página Módulos o usuário terá a disposição os módulos cadastrados. A demonstração é através de nodos, tendo o central como o nome do local, os intermediários como os cômodos do local e os finais como os módulos. As cores só mudaram para os nodos periféricos, sendo vermelho quando eles tiverem desligados e verde como desligados. Se o módulo não for desligado pelo sistema, o mesmo identifica o consumo zero e modifica sua coloração.

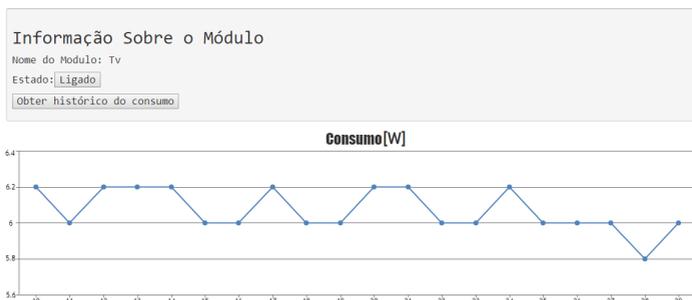
Figura 26 – Imagem do arranjo dos nodos



Fonte: Autor

Quando selecionado algum nodo final é possível verificar o estado do nodo e quanto está consumindo no momento, isso é possível porque o usuário se conecta ao tópico consumo do *broker* e começa receber as informações que então sendo enviadas pelo módulo, em tempo real. Dessa maneira o tópico terá dois clientes, o servidor e o usuário.

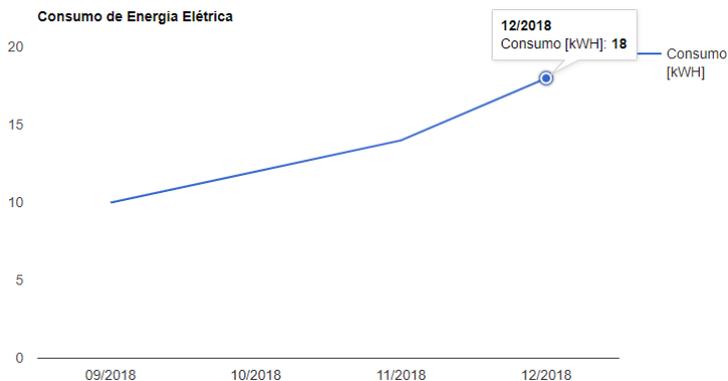
Figura 27 – Representação das informações e consumo do módulo



Fonte: Autor

A figura 27 demonstra um gráfico com o consumo instantâneo do módulo monitorado.

Figura 28 – Imagem do histórico gráfico de consumo



Fonte: Autor

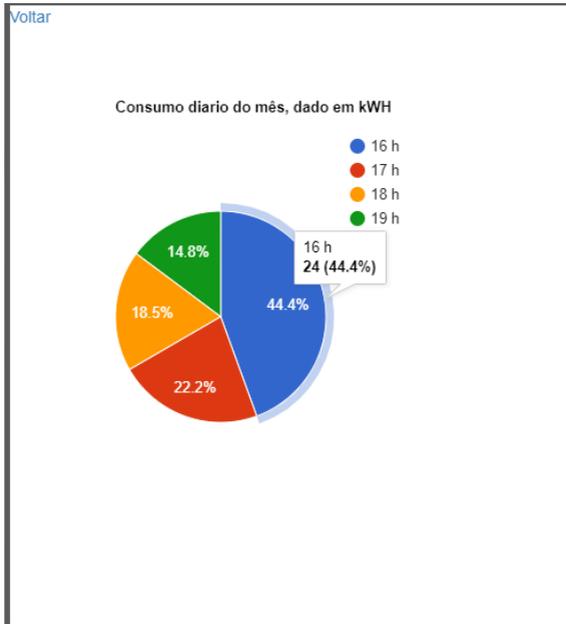
Na figura 28 é possível ver que o sistema possibilita fornecer o histórico de consumo do aparelho que está sendo monitorado. Para a construção do gráfico foi utilizado uma API desenvolvida pela *Google* chamada *Google Chart*. O gráfico é de forma acumulativa e a cada

mês é zerado o consumo e adicionada uma coluna no eixo x. Para que fique mais próximo da medição de consumo de energia informado pelas distribuidoras de energia elétrica, o gráfico vai informar como unidade kWh(Quilowatt-hora). Para isso foi considerado:

$$E = P \cdot \Delta t \quad (3.8)$$

Onde na equação 3.8, E é dado por energia elétrica, P por Potência Elétrica e Δt é a variação de tempo. O tempo que foi medido foi a cada um segundo, logo a energia elétrica é igual a potência elétrica. Com isso foi preciso converter o segundo para hora e watts para quilowatts, para que o gráfico ficasse no padrão de unidade kWh.

Figura 29 – Imagem do gráfico de consumo diário



Fonte: Autor

Para saber qual o período do mês foi mais gasto é possível clicando sobre o gráfico no mês correspondente. Este gráfico de forma de pizza é uma representação dos horários de consumo, cem por cento seria o consumo total do mês conforme a figura 29. Essa informação é vantajosa para aparelhos que não tem a necessidade de permanecer ligados em horário fora do utilizados, logo o usuário ter a consciência dos períodos que mais estão sendo gastos.

Na figura 30 é a representação do formulário de inserção de um novo módulo no sistema. Para adicionar um módulo deve se da um nome, de preferência nomear de forma que seja fácil de saber qual o aparelho que está conectado ao módulo, logo abaixo um *list box* com os locais cadastrados ou é possível adicionar um novo local.

Figura 30 – Formulário de cadastro do módulo

Nome do Módulo:

Localização do modulo:

Outra Localização do modulo:

Fonte: Autor

Para o módulo publicar ou ser avisado pelo *broker* o usuário deverá saber o seu código, pois faz parte do tópico, por isso há uma página para informar essa informação.

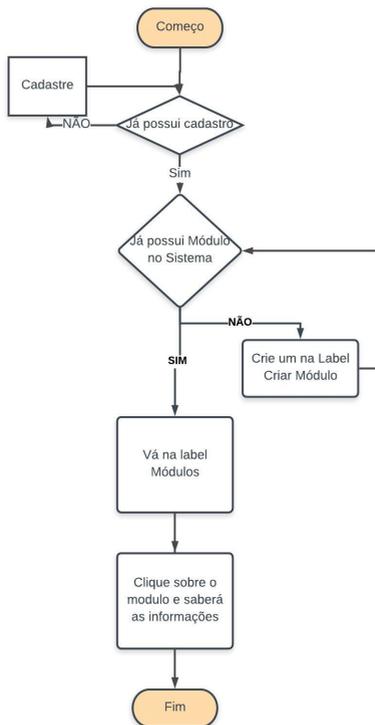
Figura 31 – Informação do Usuário

Login do usuario : leonardo

Código do Usuario: 5

Fonte: Autor

Figura 32 – Fluxograma de funcionamento do servidor



Fonte: Autor

A figura 32 é uma representação de funcionamento do servidor, com os passos que devem ser seguidos.

4 RESULTADOS

4.1 COMUNICAÇÃO

Para validar a comunicação, tanto entre o módulo e o *broker* como o servidor e o *broker*, foi utilizado um software chamado MQTT Spy. O MQTT Spy possibilita publicar alguma mensagem no tópico ou receber as mensagens também e verificar no próprio software se as mensagens estavam sendo transmitidas

Figura 33 – Inserir Mensagem no Tópico



Fonte: Autor

A figura 33 é um caso para teste de inserção de valores no tópicos, para fins de testes para que o servidor receba este dados

Figura 34 – Publicar Mensagem no Tópico



Fonte: Autor

Já a figura 34 é a representação das mensagens recebidas pelo *broker* em um determinado tópico.

Figura 35 – Teste mensagem no servidor

```

static void client_MqttMsgPublishReceived(object sender, MqttMsgPublishEventArgs e)
{
    DBConnect db = new DBConnect();
    string consumo = Encoding.UTF8.GetString(e.Message);
    db.SetConsumo(e.Topic, Convert.ToDouble(consumo));
}

```

consumo 🔍 - "7" ⇄ e.Topic 🔍 - "5/Quarto/Tv/consumo" ⇄

Fonte: Autor

A figura 35 é o momento que chega um dado no servidor e o tópico no qual é referente esse dado.

Figura 36 – Teste mensagem no módulo

```

Message arrived in topic: 5/Quarto/Tv/estado
Message:01
ligado

```

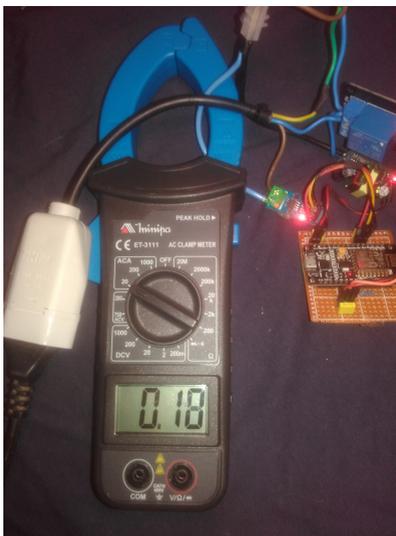
Fonte: Autor

Já a figura 36 é o momento que a mensagem é recebida pelo módulo.

4.2 SENSOR DE CORRENTE

Para validar o sensor de corrente foi utilizado um multímetro comercial capaz de efetuar a mediação de corrente alternada, corrente essa que é dada em RMS. Os casos testados para o sensor de corrente foi um ventilador, um aspirador de pó e um carregador de celular. Essa abordagem de alguns eletrônicos é para validar as medições em componentes diferentes e que não haja uma configuração para apenas um componente específico. No próprio *datasheet* do componente o erro previsto é de +/- 1,5%, para uma temperatura de 25C.

Figura 37 – Foto do teste corrente com um ventilador



Fonte: Autor

Figura 38 – Foto do teste corrente com um carregador



Fonte: Autor

Figura 39 – Foto do teste corrente com um aspirador de pó



Fonte: Autor

Tabela 3 – Medição corrente elétrica real

	Ventilador	Carregador	Aspirador de Pó
Sensor de Corrente[A]	0,17	0,01	3,28
Multímetro[A]	0,18	0,01	3,30

4.3 CONSUMO INSTANTÂNEO

Como já constatado o valor de tensão utilizado para o cálculo do consumo é o valor de tensão nominal da residência inserido pelo usuário, admitindo uma variação de 110% a 95% sobre a tensão nominal, como estabelecido pela ANEEL. Como não foi utilizado algo que pudesse mensurar o valor real de tensão, por motivo de deixar mais barato o módulo, o valor informados aos usuários podem ter uma variação de 5% para baixo ou para cima.

Figura 40 – Imagem da medição de tensão



Fonte: Autor

Para o cálculo do consumo real, foi utilizado os valores de corrente no caso anterior e com os mesmos equipamentos. Como já foi medido a tensão da residência e a corrente que o equipamento consumo, a potência é dada pelo produto dessas unidades. A tabela abaixo também compara em relação à potência nominal, informada pela fabricante do produto.

Tabela 4 – Resultado consumo instantâneo

	Ventilador	Carregador	Aspirador de Pó
Real[W]	38,34	2,13	707,16
Sistema[W]	37,40	2,20	721,60
Consumo Nominal[W]	40	3,5	1200

Como visto na figura 40 mesmo como uma tensão nominal de 220V, a tensão real pode ter uma variação de 209V a 231V ou 104,5V a 115,5V para um rede de 110V. Este desvio de valou acarretou para um valor com uma variação, onde o pior caso foi o aspirador de pó com uma variação, representando 2% sobre o valor real.

4.4 CONSUMO CONTÍNUO

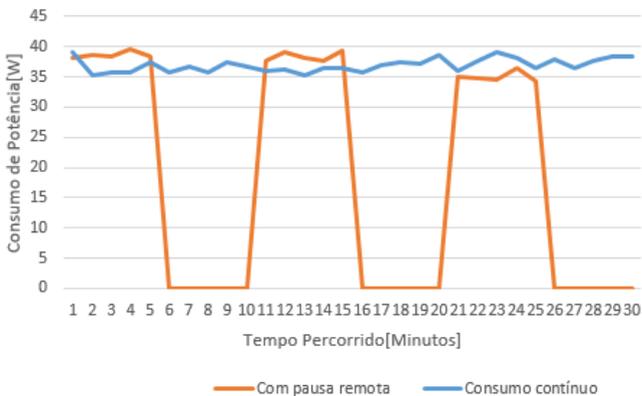
Para validar o funcionamento do sistema por um período contínuo foram realizadas medições em um tempo médio de meia hora com 3 tipos de carga: resistiva (ferro de solda), indutiva (ventilador) e uma fonte chaveada (carregador de notebook). Os valores foram medidos através do módulo e salvos em uma tabela no banco de dados. Os valores salvos foram representados em uma gráfico produzido em um *software* de planilha, tendo como unidade de potência em *Watts*. Como havia a possibilidade de armazenar o valor medido pelo medidor comercial, não foi possível fazer a comparação com o consumo real.

Tabela 5 – 1 - Carga Indutiva ; 2 - Carga Resistiva ; 3-Fonte Chaveada

	Valor Nominal	Mín. Medido	Máx. Medido	Média
1	50	38,939	47,350	43,947
2	40	35,185	39,185	36,997
3	65	32,167	83,226	73,927

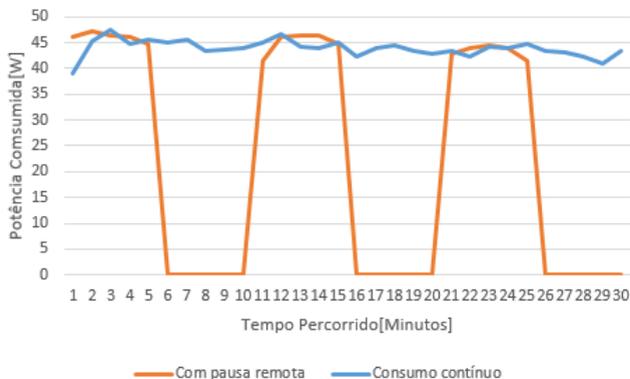
A tabela 5 é uma representação dos resultados obtivos através do consumo contínuo. As figuras 42, 41 e 43 representam os resultados com consumo contínuo e outro caso havendo um desligamento remoto.

Figura 41 – Gráfico do consumo de potência elétrica do Ferro de Solda



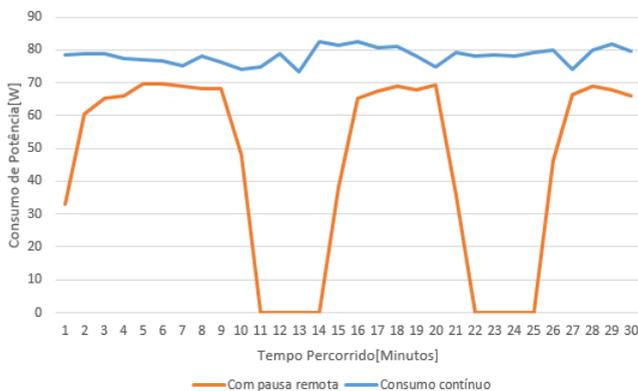
Fonte: Autor

Figura 42 – Gráfico do consumo de potência elétrica do Ventilador



Fonte: Autor

Figura 43 – Gráfico do consumo de potência elétrica da Fonte Chaveada



Fonte: Autor

Medições como da fonte chaveada (Figura 43) e da carga resistiva (Figura 41) possuíram muitas oscilações pelo fato do consumo do equipamento ser alterado conforme a utilização do dispositivo eletrônico. Já o ventilador (Figura 42) como no seu funcionamento é mais linear seu consumo se torna constante.

4.5 PREÇO DE CUSTO

Para construir o sistema foi gasto somente por parte das compras dos componentes eletrônicos, os softwares utilizados são *open source*, sem custos.

Tabela 6 – Tabela de Custos

PRODUTOS	UNIDADE	PREÇO(R\$)
ESP8266	1	7,44
ACS712	1	15,45
RELÉ	1	2,47
FONTE	1	24,00
TOTAL		49,36

5 CONCLUSÃO

O desenvolvimento do sistema teve como proposta o monitoramento de consumo de energia elétrica dos eletrodomésticos e que possam desligar ou ligar de forma remota. Além disso, o sistema teve a premissa de ser de baixo custo, afim de pessoas com baixa renda tivessem uma maior facilidade de ter acesso ao módulo construído.

Visto a relevância do tema, controle de consumo de energia elétrica, surgiu o incentivo de desenvolver o sistema. Conscientizando o consumo para que de certa forma resulte tanto na redução nos gastos financeiros e como aspectos ambientais.

Neste sentido, a utilização do sistema possibilita o controle mensal de um equipamento eletrônico em um fluxo contínuo de tempo, afim do usuário poder verificar se houve mudanças de hábitos no que se refere ao controle de consumo. O sistema possibilitou conferir os horários em que mais houve consumo durante o mês.

Para atingir os resultados esperados, foi preciso conhecer o processo de medição de consumo de energia elétrica. Como o sistema foi idealizado para ser compacto foi de suma importância fazer um levantamento de tecnologias que já idealizaram a construção de um sistema de consumo de energia elétrica ou de pesquisas semelhantes. O levantamento de tecnologias que foram utilizadas foi fundamental para existisse acertos sem muitos desperdícios de testes que pudessem falhar, visando sempre o campo de atuação do sistema.

A utilização do protocolo MQTT se tornou vantajosa para a produção do sistema, de maneira que o sistema fosse modulável sem a necessidade de saber quem era o destinatário final da informação, apenas saber o tópico que a informação era enviada. Para a utilização do *broker* foi idealizado um padrão para os tópicos, para que não houvesse sobreposição de informações.

Como o sistema abordava tanto a produção de um módulo, para a captação do valor de consumo de energia elétrica, como um servidor, para traspor essas informações, alguns desafios apareceram. Desafios relacionados ao módulos foi o ajuste do valor de corrente elétrica, para que possa validar foi preciso fazer um tratamento no dado, como um filtro, calculo de taxa de amostragem e um ajuste para que o valor fosse um valor medido.

Já no servidor um dos desafios foi construir o sistema de maneira que os usuários pudessem usufruir intuitivamente e tivesse um fácil entendimento das informações que foram apresentadas. Os aspectos

como a forma de representação dos módulos, a coloração do mesmo, para identificar se o equipamento está ligado ou desligado, e os gráficos, para ilustrar o histórico de consumo, foram formas que solucionaram o caso.

Analisando os resultados obtidos, o sistema se mostrou funcional, com valores muito próximo aos valores nominais de consumo indicado pelas próprias fabricantes, onde o pior caso analisado para um consumo contínuo foi o de uma carga indutiva com uma variação de aproximadamente 2%. As variações encontradas nos resultados se dá pelo cálculo de consumo de energia elétrica com a tensão nominal e não da real, já que tem-se uma variação de no máximo de 5% sobre a tensão, estabelecida pela ANEEL, e 1,5% sobre o sensor de corrente.

Dada a importância do projeto, um dos desejos futuros é disseminar o sistema para a população, de forma que as informações geradas possibilitem reduzir o desperdício de energia elétrica, além disso produzir uma redução de gastos. Infelizmente mesmo com um preço baixo, a compra de módulos, para popular uma residência, representa um preço elevado para famílias mais carentes. Para isso, a motivação de um possível movimento que tivesse como propósito a utilização do sistema em comunidades mais carentes, dada uma rotatividade em cada família, contemplando sem custo. Dessa forma que seja produzido uma avaliação dos gastos dos contemplados e verifique os pontos onde são possíveis a redução de gastos.

ANEXO A – Anexo

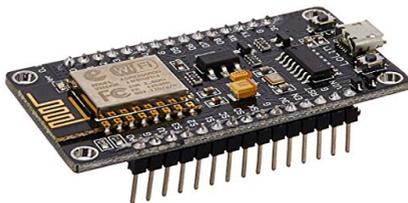
A.1 MATERIAL

Nesta seção foram abordados os materiais que serão utilizadas para a construção do sistema.

A.1.1 Microcontrolador

Com o intuito de estabelecer comunicação com os periféricos, seja para adquirir o valor da corrente ou interrompê-la, e enviar/receber dados do servidor, foi utilizado o módulo **ESP8266**, modelo ESP-12E, desenvolvido pela empresa Espressif. O módulo ganhou grande utilidade no ramo IoT(Internet das Coisas) pelo seu tamanho, aproximadamente de uma polegada; seu preço, por volta de 2 dólares e por já está integrado um módulo WIFI.

Figura 44 – Ilustração do ESP8266



Fonte: (KODALI; SORATKAL, 2016)

Especificações Técnicas:

- Trabalha nas temperaturas: -40°C até $+125^{\circ}\text{C}$
- Peso 7g
- É um System-On-Chip com **Wi-Fi**
- Conversor ADC: 10 bits de resolução com tensão máxima de 3,3V
- Suporte à redes: 802.11 b/g/n
- Alcance: 90m aproximadamente
- Suporta comunicação TCP e UDP
- Conectores: GPIO e Entrada ADC
- Modo de segurança: **WEP/WPA_PSK/WPA2_PSK/WPA_W**

A.1.2 Interruptor e Sensor de Corrente

Dos tipos de sensores apresentados, o mais presente no mercado é o regido pelo efeito hall, com uma grande quantidade de modelos, CI's e baixo custo. Dessa forma, o sensor escolhido para o projeto foi o de efeito hall, buscando o objetivo de obter um projeto final de baixo custo. Dentre todos os sensores de efeito hall disponíveis, o mais vantajoso para aplicação foi o que mede até 20 A.

Figura 45 – Ilustração sensor ACS712



Fonte: (DESK, 2015)

Para interruptor da energia elétrica, foi utilizado um relé eletromecânico com tensão 220/110 VAC, 5V de acionamento e uma corrente máxima de 20A. Logo, o projeto se limita no máximo 20 A o valor máximo de corrente elétrica para que não haja danos ao módulo.

Figura 46 – Ilustração relé utilizado



Fonte: (LAB, 2012)

REFERÊNCIAS

- ANEEL. *AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA*. 2001. http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/Audiencia_Publica/audiencia_proton/2001/ap004/AP004_2001_PropostaCPFL.pdf.
- ASHRAF, Q. M. et al. Energy monitoring prototype for internet of things: Preliminary results. In: IEEE. *Internet of Things (WF-IoT), 2015 IEEE 2nd World Forum on*. [S.l.], 2015. p. 1–5.
- BARROS, M. *MQTT - Protocolos para IoT*. 2015. <<https://www.embarcados.com.br/mqtt-protocolos-para-iot/>>.
- DESK, E. N. *Introduction to Randomness and Random Numbers*. 2015. <<https://insights.globalspec.com/article/994/how-electric-current-sensor-technology-works>>.
- EPE/ONS. *Nota Técnica DEA 001/2017 – Projeção da Demanda da Energia Elétrica para os próximos 10 anos (2017-2026)*. 2017. <<http://www.epe.gov.br/pt>>.
- FARIAS, L. M.; SELLITTO, M. A. Uso da energia ao longo da história: evolução e perspectivas futuras. *Revista Liberato*, v. 12, n. 17, p. 01–106, 2011.
- FERNANDES, T. G.; PANAZIO, A. N. Do analógico ao digital: amostragem, quantização e codificação. *II Simpósio de Iniciação Científica da Universidade Federal do ABC-SIC-UFABC*, 2009.
- GARCIA, F. D. Medidor cognitivo de energia para aplicações em eficiência energética. Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2018.
- GILBERTO, T. M. J.; DIAS, D. V.; SMITH, M. S. J. Impacto no eva® das distribuidoras de energia elétrica do estado de são paulo após a lei 12.783/2013. In: *Anais do Congresso Brasileiro de Custos-ABC*. [S.l.: s.n.], 2016.
- GUREK, A. et al. An android based home automation system. In: IEEE. *High Capacity Optical Networks and Enabling Technologies (HONET-CNS), 2013 10th International Conference on*. [S.l.], 2013. p. 121–125.

HAAHR, M. *Energia renovável representa mais de 42energética brasileira*. 2015. <<http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2015/11/energia-renovavel-representa-mais-de-42-da-matriz-energetica-brasileira>>.

JAIKAR, S. P.; IYER, K. R. A survey of messaging protocols for iot systems.

JOSÉ, L. *Aquisicao e Tratamento de Dados*. 2015. <<http://www.profelectro.info/aquisicao-e-tratamento-de-dados-teoria-1-definicao-e-fundamentos-da-aquisicao-de-dados/>>.

KODALI, R. K.; SORATKAL, S. Mqtt based home automation system using esp8266. In: IEEE. *Humanitarian Technology Conference (R10-HTC), 2016 IEEE Region 10*. [S.l.], 2016. p. 1–5.

LAB, E. *A brief overview of Allegro ACS712 current sensor*. 2012. <<http://embedded-lab.com/blog/a-brief-overview-of-allegro-ac712-current-sensor-part-2/>>.

LO, A. et al. Enhanced lte-advanced random-access mechanism for massive machine-to-machine (m2m) communications. In: WWRF27-WG4-08,. *27th World Wireless Research Forum (WWRF) Meeting*. [S.l.], 2011. p. 1–5.

LOPES, J. C. Manual de tarifação da energia elétrica. *Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica-Procel*, 2002.

MARCELINO, J. E. C. Campus paulo afonso coordenação de engenharia elétrica. 2013.

MAZZER, D.; FRIGIERI, E. P.; PARREIRA, L. F. C. G. Protocolos m2m para ambientes limitados no contexto do iot: Uma comparação de abordagens.

NAIK, N. Choice of effective messaging protocols for iot systems: Mqtt, coap, amqp and http. In: IEEE. *Systems Engineering Symposium (ISSE), 2017 IEEE International*. [S.l.], 2017. p. 1–7.

PAULA, G. J. d. Medidor de demanda de energia elétrica residencial com acesso remoto. 2013.

POCERO, L. et al. Open source iot meter devices for smart and energy-efficient school buildings. *HardwareX*, Elsevier, v. 1, p. 54–67, 2017.

PRANTIK, S. *Microprocessor and Microcontroller*. 2014.

<<https://www.learnpick.in/prime/documents/ppts/details/515/microprocessor-and-microcontroller>>.

SGT. *Entendendo a Tarifa*. 2015.

<http://www.aneel.gov.br/entendendo-a-tarifa/-/asset_publisher/uQ5pCGhnyj0y/content/composicao-da-tarifa/654800?inheritRedirect=false>.

TORRES, A. B.; ROCHA, A. R.; SOUZA, J. N. de. Análise de desempenho de brokers mqtt em sistema de baixo custo. 2017.

VAŘACHA, P. et al. Technical devices for supervising of a household via internet based on arduino microcontroller. In: *12th WSEAS International conference on Applied Informatics and Communications, Istanbul, Turkey*. [S.l.: s.n.], 2012.

VELLOSO, P. B. et al. Redes domiciliares: Princípios e desafios das tecnologias sem novos fios. *Minicursos do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores*, p. 221–269, 2004.

WEISS, M.; MATTERN, F.; BECKEL, C. Smart energy consumption feedback—connecting smartphones to smart meters. *ERCIM news*, v. 14, 2013.